



UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA

HELLO WORLD!



Una paradoja comunicativa entre humanos y máquinas

Universidad Politécnica de Valencia
Valencia, Septiembre de 2013

Autor: Abel Pruñonosa Asensio
Tutor: Dr. Francisco Giner Martínez

AGRADECIMIENTOS

En primer lugar, quisiera agradecer la ayuda inestimable que me ha proporcionado mi tutor, Paco Giner. Sus aportaciones y su infinita paciencia han logrado que este trabajo fuese mucho más allá de mis pretensiones, despertando en mí, además, un afán por seguir investigando y trabajando en el campo de la animatrónica y la robótica como forma de arte. También a Moisés Mañas, quien ha repondido muy rápida y amablemente mis dudas sobre aspectos más técnicos, además de facilitarme una web con la que hacer la portada. También quisiera agradecer al resto de profesores del Máster su labor educativa, cada uno en su línea.

Este Proyecto Final de Máster está dedicado a mi familia y en especial a mi novia, Rebeca, quien me ha soportado durante largos momentos de mal humor y frustración, apoyándome y dándome ánimos cuando hacía falta. También está dedicado a Marcos, mi buen amigo que intentó convertir su visita a Olot en un laboratorio acelerado de lectura académica.

Abel Pruñonosa Asensio
Barcelona, septiembre de 2013

ÍNDICE

Pág.	Capítulo
5	1. INTRODUCCIÓN
7	1.1 Posicionamiento del proyecto
7	1.1.1 línea de investigación
7	1.1.2 Resumen
8	1.1.3 Objetivos
9	1.1.4 Motivación Personal
10	1.1.5 Metodología
11	2. CONCEPTOS FUNDAMENTALES
12	2.1 HCI (<i>Human-Computer Interaction</i>)
16	2.2 Inteligencia Artificial
23	2.3 Cibernética
25	2.4 Robot, cibernético y androide. El <i>Uncanny Valley</i>
32	2.5 Comunicación
36	2.6 Unicode, lenguajes de programación y código binario
40	2.7 El mensaje de Arecibo
44	3. REFERENTES EN EL ARTE ROBÓTICO
60	4. CUERPO CENTRAL DEL PROYECTO
61	4.1 Alcance del proyecto
61	4.1.1 A quién va dirigido
62	4.2 Contexto
65	4.3 Realización del animatrónico
66	4.3.1 Parte escultórica
75	4.3.2 Parte electrónica
77	4.3.2.1 Conexión de los componentes electrónicos
80	4.3.2.2 Programación de la placa Arduino
81	4.4 Pruebas previas al montaje definitivo

82	4.4.1 Pruebas con el sensor de proximidad
83	4.4.2 Pruebas con los servos
84	4.4.3 Pruebas con las diferentes partes móviles
84	4.5.1.1 Párpados
85	4.5.1.2 Ojos
86	4.5.1.3 Cejas
87	4.5.1.4 Boca
88	4.5 Funcionamiento del animatrónico
89	4.6 Test de usuario
91	4.7 Resultados
93	5. CONCLUSIONES
96	6. BIBLIOGRAFÍA
96	6.1 Libros
100	6.2 Revistas y artículos
100	6.3 Documentos on line
101	6.4 Tesis y tesinas
103	A. ANEXOS
104	A1 Servos
106	A1.1 Funcionamiento de un servo
107	A1.2 Tipos de servos
109	A1.3 Elección de un servo
111	A2 Arduino
111	A2.1 Sensor de proximidad
114	A2.2 Montaje definitivo
119	A4 Presupuesto
120	A3 Proveedores de material
121	Listado de figuras

Hello World!

Una paradoja comunicativa entre humanos y máquinas Abel Pruñonosa Asensio

1. INTRODUCCIÓN

La sociedad industrializada de hoy no puede concebirse sin el papel importantísimo de la omnipresente tecnología: teléfonos móviles inteligentes, red WIFI en casi cada casa, pantallas planas para los anuncios del metro, GPS a disposición del usuario de a pie, sin olvidar la tecnología más puntera como los robots no tripulados que recorren e investigan Marte o aquellos utilizados en el campo de la cirugía, por ejemplo. A falta de coches voladores, podríamos decir que nos encontramos en una de las sociedades descritas en cualquier relato de ciencia ficción.

Ray Kurzweil¹ apunta que el crecimiento en el campo tecnológico no es lineal sino exponencial, de modo que en el transcurso de cuatro años no se habrán octuplicado las prestaciones actuales de la tecnología en general, sino que se verán multiplicadas por 256. Si sigue este crecimiento exponencial (no hay indicios de que pueda llegar a frenarse), llegará un punto en el que toda previsión futurística quedará corta, siendo incapaces de imaginar qué es lo que está por venir. A este punto Kurzweil le llama “Singularidad”², tomando este término por analogía a la singularidad espacio temporal observado en los agujeros negros, donde las leyes físicas dejan de ser válidas y es imposible definir las con una función. Se calcula que este punto en la historia de la humanidad sucederá alrededor del año 2045, según predicciones del mismo Kurzweil, y para entonces se prevé que ya habrá una Inteligencia Artificial (IA)³ muy superior a la humana. No se puede saber si será un ente híbrido o puramente sintético, pero se espera que sea capaz tanto de sentir emociones como de razonar tanto o más que su creador humano.

En este proyecto artístico aplicado, partimos de la hipótesis de que se genera una IA de forma espontánea, de forma no intervenida intencionalmente

¹ Ray Kurzweil es tecnólogo de sistemas y de Inteligencia Artificial. Actualmente es el Director de Ingeniería de Google.

² KURZWEIL, R. 1999. *The Age of Spiritual Machines*, New York, NY: Penguin Books.

³ Explicada en el apartado **2.2 Inteligencia Artificial** de este proyecto.

por el hombre. Proponemos, además, que es consciente de sí misma y que quiere comunicarse con el ser humano. La cuestión es ¿de qué forma se comunicaría? ¿Sería utilizando los códigos diseñados por nosotros que usamos para comunicarle nuestras órdenes?

Dejemos por un momento la IA aparcada y planteemos una nueva situación: se encuentran dos personas de dos países totalmente diferentes, con culturas e idiomas que nada tienen que ver entre sí. ¿De qué manera se comunicarían? Posiblemente al principio por gestos y de una manera muy rudimentaria, pero si quisieran llegar a un pleno entendimiento, una de las dos debería hacer un esfuerzo y aprender el idioma de la otra (o ambas estudiar un tercer idioma común). Entonces, volviendo a nuestra IA, ¿por qué debería ella aprender a comunicarse a nuestra manera? Lo que para ella sería la base de su lenguaje interno (unos y ceros), para un ser humano corriente sería indescifrable sin un entrenamiento y herramientas adecuados.

En este trabajo queremos generar una reflexión sobre las dificultades en la comunicación entre los humanos y sus creaciones haciendo evidente la falta de conocimiento del ciudadano occidental medio (grupo en el que nos incluimos) en cuanto al lenguaje puramente maquinal, es decir, el binario. Para ello nos servimos de un busto animatrónico que está lanzando un mensaje en este código a través de la apertura y cierre de sus párpados, así como de su boca y dos movimientos faciales más, que el espectador percibirá, muy probablemente, como un sistema estropeado que abre y cierra los ojos sin ningún sentido.

1.1 POSICIONAMIENTO DEL PROYECTO

1.1.1 LÍNEA DE INVESTIGACIÓN

Este PFM se inscribe en las líneas de investigación Estética Digital e Interacción y Comportamientos, en concreto en la sublínea Interacción Humano Computadora (Human ComputerInteraction), líneas que pertenecen a los estudios del Máster oficial y público AVM (Arte Visual y Multimedia), impartido en la facultad de Bellas Artes de San Carlos de la Universidad Politécnica de Valencia, y pertenece a la tipología de proyecto aplicado.

1.1.2 RESUMEN

La intención del proyecto es poner de manifiesto la incapacidad del ser humano común de comunicarse en un código puramente maquinal, como puede ser el binario, ya que, a pesar de que éste es una creación humana, se necesita por lo menos una tabla de traducción que permita el descifrado de los mensajes. Asimismo se pone de relieve la dependencia humana de sus propias invenciones, pues si algún ente no registrado (una supuesta Inteligencia Artificial autónoma) quisiera establecer contacto con la humanidad de a pie debería hacerlo, seguramente, en un código que permitiese descifrar su mensaje.

Esta limitación humana en cuanto a la recepción de mensajes es patente también respecto a las ondas hertzianas que inundan invisiblemente el espacio que nos rodea (radio, televisión, WIFI, telefonía, etc.).

Para mostrar todo esto utilizamos en el proyecto un prototipo, que es el busto animado electrónicamente de una mujer androide. Este busto animatrónico es capaz de gesticular a través de la acción programada de cuatro motores servos, los cuales abren y cierran los párpados y la boca, giran lateralmente los ojos y mueven las cejas.

A través de un sensor de proximidad, en este primer ensayo accionamos los servos para formar la secuencia de un mensaje textual, convertido previamente a código binario. Así, el motor encargado de abrir y cerrar los párpados, por ejemplo, lo usamos de manera que cuando están abiertos corresponde al valor "1" y cerrados al "0". De esta manera el animatrónico hace una especie de traslación del código escrito a lenguaje gestual, aunque lo único que el espectador percibe a simple vista es que delante suyo tiene una cara animatrónica que gesticula sin sentido.

1.1.3 OBJETIVOS

Los principales objetivos al afrontar este proyecto son los siguientes:

1. Generar una reflexión en el espectador sobre la gran cantidad de información que nos rodea, la mayoría de forma impreceptible, y resaltar aquella parte que somos incapaces de descifrar.
2. Hacer de forma satisfactoria escultura figurativa animable.
3. Introducir en el prototipo la capacidad reactiva con respecto al espectador, necesaria para comprobar si una futura interacción reforzaría nuestras posibilidades de éxito al respecto de otros objetivos.
4. Hacer un pequeño estudio sobre la capacidad de la escultura figurativa como generadora de empatía o rechazo, acorde con el concepto de *Uncanny Valley*⁴.

Una vez desarrollado este primer prototipo quisiéramos ampliar los conocimientos en el campo de la animatrónica y la programación informática para realizar una instalación con piezas más complejas que la presente. A partir de aquí, generar una serie de piezas interactivas en las que, por ejemplo, se tomasen fotografías del espectador, y/o recibieran mensajes, que dichas piezas

⁴ Tratado en el apartado 2.4.

interpretarían en código binario; además, desarrollar un programa eficiente que nos permita leer los píxeles de una imagen en blanco y negro, que serían traducidos a una tabla de unos y ceros, además de poder cifrar mensajes escritos en código binario, y que se generase un dialogo a partir de esos inputs.

1.1.4 MOTIVACIÓN PERSONAL

Desde siempre me he sentido atraído por la precisión y la aparente perfección de las máquinas, que cada vez han ido ganando más presencia en la vida cotidiana y se han ido convirtiendo en elementos indispensables del día a día. Por otra parte, mi profesión y pasión, que es la escultura, me ha permitido materializar (mejor o peor) mis ideas e inquietudes respecto a determinados temas, como es el presente caso. Así, aunando conceptos y técnica en este PFM he llegado a la realización de un busto animatrónico, con la intención de que sirva para originar una reflexión sobre la posible existencia de una Inteligencia Artificial, tanto o más compleja que la humana, además de resaltar nuestra incapacidad para descifrar gran cantidad de información que nos envuelve, que recibimos habitualmente y de la que somos del todo inconscientes.

Además, esta pieza en concreto es la primera animada que realizo, ya que hasta ahora sólo he trabajado en este campo con técnicas escultóricas tradicionales. Así, pues, me sirve como campo de experimentación en la animatrónica, entendiéndola como una forma nueva de arte más allá de la escultura. Tras este primer ensayo, mi intención es seguir investigando y produciendo en este terreno.

1.1.5 METODOLOGÍA

En esta investigación hemos aplicado una metodología cualitativa. El primer paso ha sido realizar un estudio sobre los artistas que han trabajado y trabajan con la animatrónica y la robótica como vía de expresión. Para ello hemos tomado los ejemplos más relevantes, haciendo además una breve descripción del estado actual en este campo. También hemos desarrollado

paralelamente los vínculos conceptuales que nos han llevado a efectuar el presente trabajo.

En cuanto a la realización de la escultura, en primer lugar hicimos una investigación de los materiales usados además de las técnicas robóticas para su animación, sin olvidar la parte de programación necesaria para conectar y controlar la placa Arduino con los servos. El apartado **4.4 Realización del animatrónico** corresponde a la realización y el montaje del animatrónico, documentado fotográficamente, con la esperanza de que sirva casi como manual de instrucciones tipo DIY.

2. CONCEPTOS FUNDAMENTALES

En los siguientes subpartados explicaremos diferentes conceptos clave para entender un poco mejor nuestra propuesta artística, como la HCI (Human-Computer Interaction) o la IA (Inteligencia Artificial) que cada vez están más presentes en nuestra sociedad. Aclaremos también las diferencias entre “robot”, “androide” y “ciborg”, usados común y erróneamente como sinónimos para referirnos a una máquina con forma humana. Definiremos qué es la Cibernética y la comunicación, atendiendo a aquellos aspectos que son interesantes en nuestro caso de estudio y propuesta. Profundizando un poco en el aspecto más maquinal de ésta última, explicaremos en qué consisten los lenguajes de programación, el código binario y Unicode. Por último, introduciremos una forma de encriptar mensajes gráficos de forma binaria muy simple y sin protocolos informáticos necesarios, que nos servirá como guía para una futura instalación.

2.1 HCI (HUMAN-COMPUTER INTERACTION)

“We may debate whether our society is a society of spectacle or simulation, but, undoubtedly it is the society of a screen.”

Lev Manovich⁵

Para estudiar la relación entre el ser humano y los ordenadores y entender cómo surge y evoluciona ésta, existe lo que se llama HCI (*Human-Computer Interaction*), que analiza desde varios puntos de vista la funcionalidad y efectividad de las computadoras para el uso humano. Según la definición que da la *ACM Special Interest Group on Computer-Human Interaction (SIGCHI)*⁶:

“Human-computer interaction is a discipline concerned with the design, evaluation and implementation of interactive computing systems for human use and with the study of major phenomena surrounding them.”

Esta disciplina nació como fusión de varias más en el estudio de los ordenadores, como pueden ser: sistemas operativos, lenguajes de programación, ingeniería industrial, gráficos por ordenador, psicología cognitiva, ergonomía y ciencias de la computación, entre otras.

El uso de los ordenadores antes de los 80 había estado limitado a usos técnicos y profesionales, pero la expansión de los *Personal Computers* (PC) en esa década supuso un antes y un después en la relación entre el humano y la computadora. A partir de esta convivencia con la informática cada vez más extendida es cuando se comienza a estudiar más a fondo la manejabilidad y el diseño óptimo de los ordenadores, surgiendo estudios como el libro de Card, Moran y Newell⁷ de 1983, a partir del cual se populariza precisamente el término de HCI.

⁵ MANOVICH, L. 2002. *The language of new media*. Cambridge: MIT Press.

⁶ Página web: <http://old.sigchi.org/cdg/index.html> (Consultado el 7 de septiembre de 2013).

⁷ CARD, S., MORAN, T., NEWELL, A. 1983. *The Psychology of Human-Computer Interaction*. L. Erlbaum Associates Inc. Hillsdale, NJ, USA.

En nuestra relación con las computadoras la interfaz⁸ de estas tiene un papel fundamental. La más común de las interfaces es la pantalla, que tal y como afirma Lev Manovich, estamos inmersos dentro de su era e interactuamos con el mundo a través suyo⁹ (Fig. 1). Si analizamos la presencia de éstas veremos que los teléfonos móviles disponen de una, los ordenadores, las consolas de videojuegos, los relojes digitales, los cajeros automáticos e incluso los trenes de cercanías también disponen de ellas. Esta es la forma más común de interacción entre el ser humano y la máquina, aunque no la única.



(Fig. 1) Ejemplo de pantalla interactiva, por Nikolai Cornell

Existe también una disciplina más específica que estudia la relación entre los robots y el ser humano, conocida como HRI (*Human-Robot Interaction*), que utiliza recursos de la HCI, la robótica, la Inteligencia Artificial, las ciencias sociales, la comprensión natural del lenguaje, etc. Dentro de ésta, hay estudios enfocados en los robots humanoides, que son un caso especial

⁸ Según la R.A.E., definición de interfaz:

1. f. electrón. Zona de comunicación o acción de un sistema sobre otro.
2. electrón. Dispositivo que conecta dos aparatos o circuitos.
3. electrón. Dispositivo capaz de transformar las señales emitidas por un aparato en señales comprensibles por otro.

⁹ MANOVICH, L. 2002. Op. Cit. pág. 13

de robots¹⁰, como Kismet¹¹ (Fig. 2), por ejemplo, un robot desarrollado en el MIT¹² a finales de los 90, que era capaz de gesticular e interactuar con el espectador. Tomando a Kismet como caso de estudio, Cynthia Breazeal (su desarrolladora) redactó un paper¹³ en el que expone los resultados de sus investigaciones. Es llamativo cuando cita los descubrimientos por parte de Byron Reeves y Clifford Nass¹⁴:

“In the field of human computer interaction (HCI), research by Reeves and Nass (1996) has shown that humans (whether computer experts, lay people, or computer critics) generally treat computers as they might treat other people. From their numerous studies, they argue that a social interface may be a truly universal interface (Reeves and Nass, 1996). Humanoid robots (and animated software agents) are arguably well suited to this. Sharing a similar morphology, they can communicate in a manner that supports the natural communication modalities of humans. Examples include facial expression, body posture, gesture, gaze direction, and voice.”

En este sentido nuestro animatrónico debería ser capaz, por lo menos, de generar cierta empatía con el espectador. Su aparente disfuncionalidad tendría que motivar cuestiones acerca de su origen.

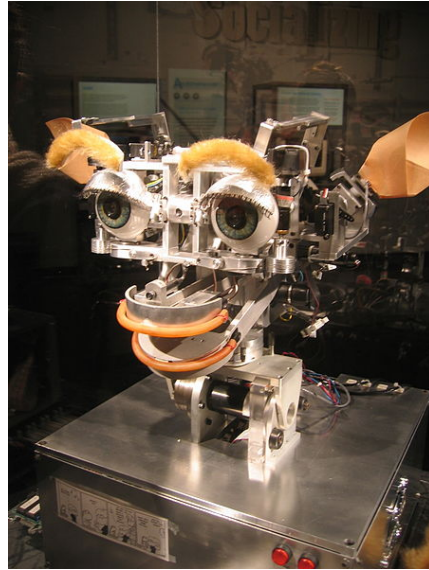
¹⁰ En el apartado 2.4 de este trabajo explicamos las diferencias entre robot, androide y cibernético

¹¹ Página web de Kismet: <http://www.ai.mit.edu/projects/humanoid-robotics-group/kismet/kismet.html>

¹² El *Massachusetts Institute of Technology* es una de las universidades más prestigiosas de Estados Unidos, habiendo licenciado a 78 premios nobel además de realizar importantísimos estudios científicos en varios campos. Página web oficial: <http://web.mit.edu/> (Consultado el 29 de agosto de 2013).

¹³ BREAZEAL, C. 2002. *Emotion and sociable humanoid robots*. MIT, USA. <http://robotic.media.mit.edu/pdfs/journals/Breazeal-ijhcs03.pdf> PDF. (Consultado el 7 de septiembre de 2013).

¹⁴ REEVES, B., NASS, C. 1996. *The Media Equation*. CSLI Publications, Stanford, CA.



(Fig. 2) Kismet, desarrollado por Cynthia Breazeal en el MIT

2.2 INTELIGENCIA ARTIFICIAL

“Tal y como la evolución cambió nuestra forma de ver la Vida, la IA cambiará la visión sobre la Mente.”
Marvin Minsky¹⁵

En nuestro proyecto utilizamos el término de Inteligencia Artificial (IA) para referirnos a aquella generada por mediación del hombre. El responsable de acuñar el término fue John McCarthy¹⁶, quien lo introdujo en 1956 en la Conferencia de Dartmouth¹⁷.

Como disciplina, entendemos como Inteligencia Artificial a *“the study and design of intelligent agents”*¹⁸, donde se intenta desarrollar máquinas con capacidad cognitiva y de aprendizaje con habilidad para resolver problemas, interaccionar con humanos, etc. La IA podemos encontrarla, por ejemplo, en juegos de ordenador en que los personajes controlados por la máquina sean capaces de tomar decisiones según las condiciones de cada momento, es decir, no ceñirse a una rutina de acciones concretas que encasillen sus acciones.

Una de las intenciones de la IA es la creación de una mente sintética consciente de sí misma y de su entorno, que además tenga voluntad de comunicación. Sobre esta posible realidad futura hay un gran número de ensayos, entre los que cabe destacar el de Ray Kurzweil¹⁹, de 1999. Como comentamos en la introducción, señala que el desarrollo de la IA está siguiendo un camino exponencial (Fig. 3), cosa que hace inimaginable el real avance a alguien que posea una visión lineal de este desarrollo.

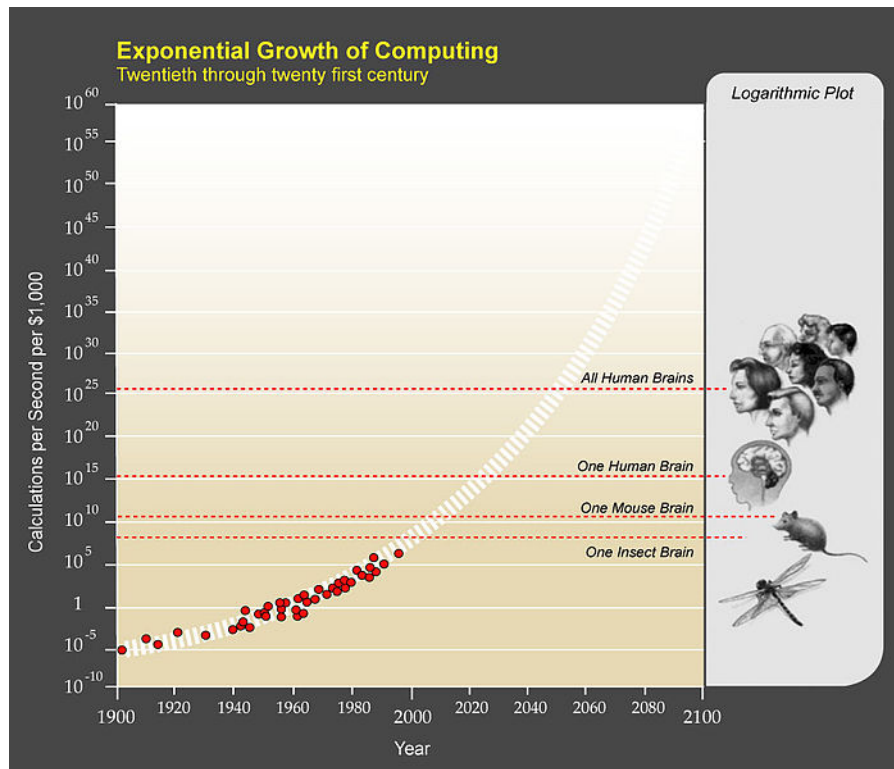
¹⁵ Extraído de www.transhumanismo.org (Consultado el 8 de agosto de 2013), en un artículo llamado *“¿Por qué la gente piensa que los ordenadores no pueden?”*, publicado en su origen en el AI Magazine, vol.3 nº4, 1982. Reimpreso en Technology Review, Nov/Dic 1983, y en The Computer Culture, (Donnelly, Ed.) Associated Univ. Presses, Cranbury NJ, 1985.

¹⁶ John McCarthy fue uno de los fundadores del Laboratorio de Inteligencia Artificial del MIT, junto a Marvin Minsky.

¹⁷ La conferencia de 1956 en Dartmouth, Hanover (EEUU), está considerada como el inicio de la IA como estudio y desarrollo científico.

¹⁸ POOLE, D., MACKWORTH, A., GOEBEL, R. 1998. *Computational Intelligence: A Logical Approach*. New York: Oxford University Press.

¹⁹ KURZWEIL, R. Op. Cit. Pág. 6



(Fig. 3) Crecimiento exponencial de la computación según Ray Kurzweil, extraído de Wikipedia

Kurzweil predice que las máquinas tendrán voluntad propia, que hacia el 2029 serán como personas²⁰ y que por el 2040 la mayor parte del cerebro humano no será biológico. Escribe, además, que tendrán experiencias espirituales y que la diferenciación entre hombre y máquina se disipará. Otro punto interesante que menciona es en cuanto a la nanotecnología, que hará que “la materia inerte y los mecanismos del universo serán transformados en exquisitas y sublimes formas de inteligencia”²¹. Se refiere con esto a que podrían usarse, por ejemplo, los átomos de una simple roca para hacer cálculos complejísimos a día de hoy, cosa extrapolable a cualquier tipo de materia. Con esto se podrían construir megacomputadoras omnipresentes, acercándose a lo

²⁰ A estas predicciones hace mención en la entrevista que Eduard Punset le realizó en su programa “Redes”, con título “*El futuro: la fusión del alma y la tecnología*”, emitida el 26 de enero de 2009. Enlace: <http://www.rtve.es/alacarta/videos/redes/redes-futuro-fusion-del-alma-tecnologia/391648/> (Consultado el 2 de agosto de 2013).

²¹ *Ibíd.*, min. 21:40.

que él entiende como “Dios”. De aquí que hable de la espiritualidad de las máquinas, pues van camino de la conciencia y perfección universales:

“Me gusta pensar en la evolución, la evolución biológica, que condujo a la evolución tecnológica, como una especie de proceso espiritual, porque, ¿qué es lo que vemos en la evolución? Vemos entidades que se vuelven más inteligentes, con más conocimientos, más creatividad, más belleza. Y ¿qué es Dios? ¿Cómo se ha descrito Dios? Dios es una idea y se refiere a una capacidad ilimitada en todos estos aspectos: inteligencia, creatividad, belleza, conocimiento. Y la evolución avanza exponencialmente en esa dirección: desborda creatividad e inteligencia y conocimiento. Por tanto, la evolución se mueve en una dirección espiritual y cada vez se parece más a Dios. Es un proceso espiritual.”²²

En este tipo de ideas hay variedad de opinión y actitud frente a un mismo elemento común, que es el futuro tecnológico de la humanidad. Uno de los autores más importantes en el campo de la IA es el matemático y escritor de ciencia-ficción norteamericano Vernor Vinge²³, quien asegura que antes del 2030 se habrá creado inteligencia superior a la humana, ya sea sólo mediante computadoras o entre la unión (física o no) de los humanos y ellas. Vinge cree que la superinteligencia surgirá de un modo espontáneo y distingue entre dos tipos de inteligencia: la débil (*soft*) y la fuerte (*hard*). La primera se basa en la rapidez de cálculo y procesamiento de la máquina, muy superior a la del hombre y, como en el caso del ordenador que ganó a Kasparov al ajedrez²⁴ en 1997 (Fig. 4), utiliza la heurística pura, es decir, analiza las posibles respuestas y escoge la mejor, pero no es una inteligencia creativa, sino más bien estadística. La Inteligencia Artificial fuerte considera que los estados mentales son

²² *Ibíd.*, min. 24:24.

²³ VINGE, V. 1999 *The Coming Technological Singularity: How to Survive in the Post-Human Era*. Department of Mathematical Sciences of San Diego State University. Versión digital: <http://www.aleph.se/Trans/Global/Singularity/sing.html> (Consultado el 9 de agosto de 2013).

²⁴ El ordenador se llamaba Deep Blue, de IBM, y derrotó a Kaspárov 3½-2½ en un match a seis partidas. Página web del encuentro según IBM: <http://www-03.ibm.com/ibm/history/ibm100/us/en/icons/deepblue/> (Consultado el 28 de agosto de 2013).

algoritmos complejos que pueden llegar a descodificarse, de modo que se puede llegar a obtener una consciencia artificial utilizando estos algoritmos.



(Fig. 4) Gary Kasparov contra Deep Blue en 1997

En los años 60 hubo una crisis en la búsqueda de la Inteligencia Artificial como imitación de la humana cuando después de conseguir que las computadoras pudiesen resolver problemas complejos, sin embargo, fuesen incapaces de hacerlo con problemas elementales por su falta de “*sentido común*”. De ahí que Hans Moravec²⁵, uno de los más reconocidos investigadores en el mundo de la robótica, abandonase la mera búsqueda de la IA y la imitación de la inteligencia humana, centrándose solamente en el avance tecnológico, el cual, según él, será de un modo natural el encargado de generar la propia IA²⁶.

Por otra parte, Rudy Rucker²⁷ cree que en un futuro será posible decodificar la esencia del individuo para poder pasarla al mundo digital y permitir así la inmortalidad del intelecto. Su idea se basa en que el pensamiento es una forma de procesar información, al igual que los sentimientos y los conocimientos, de modo que todos estos podrían almacenarse en forma de

²⁵ Página web de Hans Moravec: <http://www.frc.ri.cmu.edu/~hpm/> (Consultado el 9 de agosto de 2013).

²⁶ En una entrevista en: <http://www.primitivism.com/superhumanism.htm> (Consultado el 10 de agosto de 2013).

²⁷ Página web de Rudy Rucker: <http://www.rudyrucker.com/> (Consultado el 9 de agosto de 2013).

archivos informáticos para “descargarlos” en un cibernético, por ejemplo. De este modo se conseguiría la inmortalidad mencionada, ya que una vez que el modelo de cibernético usado quedase obsoleto o anticuado podría traspasarse la “mente-programa” a uno nuevo.

Por su parte, Marvin Minsky, cofundador del MIT y considerado como uno de los padres de la Inteligencia Artificial, dice que hasta que ésta no tenga sentido común no podemos hablar de inteligencia en sí: “*la inteligencia artificial avanza hacia atrás, del experto al niño. El futuro está en que la máquina aprenda muchas cosas simples y crezca por sí misma*”²⁸.

Considera, además, que en cuanto seamos capaces de crear una máquina que aprenda como un niño, lo seremos también de entender cómo aprenden las personas. De este modo, considera que la IA es la parte más avanzada de la psicología. Además, pone su punto de enfoque en la importancia que tendrá la nanotecnología en un futuro, tecnología que estará presente en todas partes incluso dentro del propio cuerpo humano.

Minsky propone perfeccionar a los humanos mediante tres pasos:

- 1) Utilización de prótesis para sustituir las partes deterioradas del cuerpo;
- 2) Conexión directa del cerebro con el ordenador para adquirir mayor sabiduría;
- 3) Conexión completa mediante la sustitución íntegra del cerebro usando la nanotecnología.

De este modo no se podrá hacer distinción entre humanos y máquinas, sino que todo estará fusionado y habrá que considerar a las máquinas inteligentes como “hijos mentales” del propio ser humano, tal como también propone Moravec²⁹.

²⁸Extraído de una entrevista de El País el 4 de diciembre de 1991:

http://elpais.com/diario/1991/12/04/cultura/691801201_850215.html (Consultado el 9 de agosto de 2013).

²⁹ MORAVEC, H. 1993. *The Age of Robots*, Robotics Institute Carnegie Mellon University. <http://www.frc.ri.cmu.edu/~hpm/project.archive/general.articles/1993/Robot93.html> PDF (consultado el 5 de septiembre de 2013)

Por su parte, Ray Kurzweil³⁰, afirma que las neuronas, aparte de ser una creación maravillosa, pierden mucha energía recomponiendo su propio sistema celular y que no están únicamente enfocadas al procesamiento de información. A este efecto, un circuito eléctrico es millones de veces más rápido, de modo que cuando se haya creado una imitación del cerebro con nanotubos se habrá conseguido un cerebro millones de veces más rápido que el humano.

También define la inteligencia como la capacidad de resolver problemas, y que muchos de éstos tienen que ver con las limitaciones de nuestros propios cuerpos. De ahí que el uso de nanorrobots o nanobots para mejorar la capacidad del cerebro o la reparación de tejidos orgánicos conlleve una superinteligencia que ahora mismo nos es imposible de imaginar. Así, afirma que el ser humano no es en absoluto el fin de la evolución, sino que es justo ahora con la revolución tecnológica cuando ésta empieza realmente³¹.

En contraste a todos estos autores, encontramos a otros que sustentan opiniones enfrentadas, como que las máquinas jamás serán capaces de tener consciencia. Por ejemplo, el físico Roger Penrose³² apunta que para lograr pensamientos es necesario una corporeidad, un proceso biológico, y que un proceso electrónico siempre será una imitación, forma sin contenido. Esto es rebatido por Marvin Minsky, quien dice que "*Penrose escribe mala teoría y hace truco al final. Lo que afirma en el fondo es que pensamos porque Dios ha puesto las ideas en nuestra cabeza; evidentemente eso descalifica a las máquinas para hacer lo mismo. Es un argumento de fe y propio de personas que no conocen máquinas grandes sino electrodomésticos*"³³. Para Minsky, "*las máquinas pueden ser inteligentes, porque el cerebro humano es simplemente otra máquina; todo lo perfecta y compleja que se quiera, pero una máquina.*"³⁴

³⁰ KURZWEIL, R. Op. Cit. pág. 6

³¹ *Ibíd.*

³² PENROSE, R. 1989. *The Emperor's New Mind - Concerning Computers, Minds, and The Laws of Physics*, Oxford University Press.

³³ Extraído de una entrevista de El País el 4 de diciembre de 1991: http://elpais.com/diario/1991/12/04/cultura/691801201_850215.html (Consultado el 9 de agosto de 2013).

³⁴ *Ibíd.*

Y por último está Terry Winograd, experto en IA, quien a pesar de su esfuerzo en el desarrollo de la misma, afirma que el problema radica en conseguir primero la comprensión de la misma inteligencia humana antes de poder buscar una artificial³⁵.

³⁵ WINOGRAD, T., FLORES, F. 1987. *Understanding Computers and Cognition: A New Foundation for Design*, Addison-Wesley.

2.3 CIBERNÉTICA

“Sólo puede entenderse la sociedad mediante el estudio de los mensajes y de las facilidades de comunicación que ella dispone, [...] en un futuro desempeñarán un papel cada vez más preponderante los mensajes cursados entre hombres y máquinas, entre máquinas y hombres y entre máquinas y máquinas”

Norbert Wiener³⁶

La cibernética es la parte de la ciencia que estudia la organización de sistemas complejos, que son capaces de aprender y adaptarse de algún modo a su entorno, siendo una ciencia abierta, ya que toca muchas ramas del conocimiento tales como la física, la informática, la biología, la psicología, la neurociencia o la sociología entre otras. El término de cibernética como se conoce hoy en día fue usado por primera vez por Norbert Wiener³⁷, quien la definió como *“the scientific study of control and communication in the animal and the machine”*³⁸. Según la definición ampliada por parte de la RAE tendríamos el *“estudio de las analogías entre los sistemas de control y comunicación de los seres vivos y los de las máquinas; y en particular, el de las aplicaciones de los mecanismos de regulación biológica a la tecnología”*.

Wiener se centró en el estudio de las semejanzas que había entre el cerebro y comportamiento humanos, los sistemas automáticos y los robots, extrayendo de aquí los dos principios básicos de la cibernética: toda información es comunicación, y todo sistema dispone de dispositivos de retroalimentación o *feedback*³⁹.

Este *feedback* es el responsable de que el sistema sea abierto (a diferencia de los sistemas newtonianos), de modo que el sistema interactúa con su medio circundante, modificándolo recíprocamente. De este modo, puede haber una conexión entre sistemas distintos, además de un entendimiento entre

³⁶WIENER, N. 1969. *Cibernética y Sociedad*, Buenos Aires, Editorial Sudamericana.

³⁷ Norbert Wiener (1894-1964), matemático estadounidense considerado el padre de la Cibernética. Desarrolló, además, conceptos como el *“feed-back”* (o retroalimentación) que facilitan las predicciones de comportamientos en diferentes sistemas complejos.

³⁸ WIENER, N. 1948. *Cybernetics: Or Control and Communication in the Animal and the Machine*. Cambridge: MIT Press.

³⁹Ibíd.

ellos y entre éstos y su entorno. Como ejemplo ilustrativo de esto, tomemos el sistema de regulación térmica en los animales de sangre caliente: existe todo un complejo sistema de “receptores” y otros mecanismos que “toman información” del exterior y la “computan” para mantener las condiciones térmicas necesarias para la vida de esos animales: se trata, pues, de un sistema inteligente de retroalimentación.

Este comportamiento de intercomunicación y transformación realmente sucede en todo el Universo, de modo que la Cibernética intenta hallar explicaciones y modelos para usos, en principio, tan dispares como la robótica, la biología o la neurociencia. Sin embargo, hoy en día la cibernética se usa más comúnmente para designar la parte de la ciencia que estudia los sistemas de comunicación y de control en aparatos electrónicos complejos como los ordenadores. Así, un aparato cibernético recoge datos de su entorno a través de sensores, interruptores, etc. y los procesa para dar una respuesta, por ejemplo a través de sonido, luz o datos informáticos, interactuando de alguna forma con su entorno.



(Fig. 5) Portada sobre la cibernética de la revista Time de 1950

2.4 ROBOT, CÍBORG Y ANDROIDE. EL UNCANNY VALLEY

"Prefiero ser una cíborg que una diosa"

Donna Haraway⁴⁰



(Fig. 6) El androide Geminoid HI-1 y su creador, Hiroshi Ishiguro

Cuando escuchamos la palabra "robot" casi de manera inmediata pensamos en una máquina antropomórfica que imita en cierto modo al ser humano. Sin embargo, esta idea correspondería más con la de androide, generada originalmente por la literatura y películas de ciencia-ficción, aunque hoy en día ya existen androides reales y funcionales como *Geminoid HI-1*, de Hiroshi Ishiguro (Fig. 6).

A pesar de que el concepto de androide suene muy futurista, en realidad resulta mucho más antiguo de lo que parece. Podemos encontrar referencias a este tipo de seres en las tradiciones mitológicas de diferentes culturas como, por ejemplo, en la judía, que narra historias sobre el Golem, que es un androide hecho de barro por el hombre, o la historia de Galatea y Pígalión, siendo ella una estatua que cobra vida a través de la intervención de Venus. En la actualidad hay cientos de ejemplos de estos seres antropomórficos artificiales, desde el monstruo de Frankenstein de Mary Shelley (1818), "*La Eva futura*" de

⁴⁰ HARAWAY, D. 1991. "A *Cyborg Manifesto: Science, Technology, and Socialist-Feminism in the Late Twentieth Century.*" *Simians, Cyborgs and Women: The Reinvention of Nature.* New York: Routledge.

Villiers de l'Isle-Adam (1886), hasta los más recientes de la industria cinematográfica.

En cuanto al origen de la palabra “robot”, lo encontramos en una obra de teatro de 1921 del escritor checo Karel Capek llamada *Rossum's Universal Robot (R.U.R)*⁴¹ (Fig. 7). En ella la humanidad vive en una sociedad postindustrial libre de todo trabajo, que es realizado por androides fabricados en la empresa R.U.R., dirigida por el científico Rossum y su hijo. Estos androides son réplicas casi exactas de los humanos y realizan todo tipo de labores obedientemente, pero al final de la obra la humanidad se torna estéril y los robots se sublevan destruyéndolo todo, siendo estos últimos los nuevos herederos del planeta. Esta obra ha ejercido una influencia enorme en la literatura de ciencia-ficción, así como en la posterior industria cinematográfica y en el ideario colectivo, pues es ya un clásico el enfrentamiento de las máquinas inteligentes con el hombre.



(Fig. 7) Cartel de la obra de teatro R.U.R.

En cuanto a la definición de robot, no hay un consenso establecido, ya que hay diferencias básicas entre la visión euro-americana y la japonesa, existiendo matices diferenciales entre robot y manipulador. Si nos centramos

⁴¹ AA. VV. 1997. *Fundamentos de robótica*. Madrid: McGRAW-HILL.

en la definición que da la Asociación de Industrias Robóticas (RIA)⁴², un robot podría definirse como:

- Un dispositivo multifuncional reprogramable diseñado para manipular y/o transportar material a través de movimientos programados para la realización de tareas variadas.

Una ampliación de la anterior es la definición que da la ISO ⁴³ (*International Standard Organization*) para el robot industrial, siendo:

- Un manipulador multifuncional reprogramable con varios grados de libertad, capaz de manipular materias, piezas, herramientas o dispositivos especiales según trayectorias variables programadas para realizar tareas diversas.

Otra definición más completa es la de la Asociación Francesa de Normalización (AFNOR), definiendo primero el manipulador y después el robot⁴⁴:

- Manipulador: mecanismo formado generalmente por elementos en serie, articulados entre sí, destinado al agarre y desplazamiento de objetos. Es multifuncional y puede ser gobernado directamente por un operador humano o mediante dispositivo lógico.
- Robot: manipulador automático servocontrolado, reprogramable, polivalente, capaz de posicionar y orientar piezas, útiles o dispositivos especiales, siguiendo trayectorias variables reprogramables, para la ejecución de tareas variadas. Su unidad de control incluye un dispositivo de memoria y ocasionalmente de percepción del entorno. Normalmente su uso es el de realizar una

⁴² Ibíd.

⁴³ Ibíd.

⁴⁴ Ibíd.

faena de manera cíclica, pudiéndose adaptar a otra sin cambios permanentes en su material.

Por último, la *Japanese Industrial Robot Association (JIRA)* diferencia seis clases de robots:

- Clase 1 Aparato operado manualmente: aparato con varios grados de libertad actuado por un operador.
- Clase 2 Robot de secuencia fija: aparato que desarrolla sucesivas etapas de trabajos acorde con un determinado e invariable método, el cual es normalmente difícil de modificar.
- Clase 3 Robot de secuencia variable: el mismo tipo de aparato que el de la Clase 2, pero sus etapas pueden modificarse fácilmente.
- Clase 4 Robot de repetición: el operador humano desempeña una tarea guiando manualmente al robot, el cual graba las trayectorias. Esta información es recordada cuando es necesario, de manera que el robot puede realizar la tarea en modo automático.
- Clase 5 Robot de control numérico: el operador humano programa el robot en lugar de guiarlo manualmente.
- Clase 6 Robot inteligente: robot con la capacidad de entender su entorno y la habilidad de completar una tarea satisfactoriamente a pesar de los cambios de las condiciones del medio en el que esté actuando.

Se puede ver que en ninguna definición se habla de la forma que tiene que adoptar un robot, de modo que tanto sirve una estructura tipo brazo articulado, como cualquier otra, sin tener que ser expresamente tipo humanoide.

Dejando aparte las descripciones de las diferentes asociaciones internacionales en cuanto a robots, pasamos a definir el concepto de “ciborg”, que cabe decir que fue creado uniendo las raíces “cyber” (de cibernético) y

“*organism*” (organismo), es decir, organismo cibernético. Se refiere, pues, a un ente híbrido con partes orgánicas y otras electrónicas y/o mecánicas, siendo Manfred E. Clynes y Nathan S. Kline⁴⁵ quienes en 1960 acuñaron el término para referirse a un ser humano mejorado capaz de sobrevivir en el espacio exterior. Aunque el concepto de cibernético puede resultar tan futurista o de ciencia-ficción, en realidad no lo es tanto, pues hay personas que no podrían vivir sin un marcapasos, por ejemplo.

En la sociedad actual ya hay personas oficialmente cibernéticas: es el caso de Neil Harbisson (Fig. 8), un artista que es reconocido como el primer cibernético por su país natal, Reino Unido. Nació con una extraña enfermedad llamada “acromatopsia” (o monocromatismo) que le impide ver los colores, de modo que sólo recibe su entorno en una escala de grises. Sin embargo, desarrolló junto a Adam Montandon, un licenciado en cibernética, el *eyeborg*, que lleva instalado y está considerado una parte más de su cuerpo. El *eyeborg* es una cámara que traduce los colores en notas musicales según una escala de correspondencia de frecuencias.



(Fig. 8) Neil Harbisson, primer cibernético.

Neil Harbisson además de haberse licenciado en Bellas Artes y ser artista plástico estudió composición y piano, de ahí la idea de interpretar los colores como frecuencias sonoras. “No es la unión entre el eyeborg y mi cabeza

⁴⁵ CLYNES, M., KLINE, N. 1960. *Cyborgs and Space*. Astronautics, septiembre de 1960. Artículo.

lo que me convierte en cibernético sino la unión entre el software y mi cerebro”, dijo en una entrevista para el diario *Ara*⁴⁶.

Muchas veces suelen confundirse los términos de cibernético con androide. Habiendo aclarado el primero, el segundo es simplemente un robot con forma humanoide. En nuestro caso no podríamos referirnos a nuestro prototipo como “cibernético”, pues no tiene ninguna parte orgánica que lo convierta en tal a pesar de su aspecto humanoide. Sí que podríamos, sin embargo, llamarlo androide, puesto que vendría a ser precisamente un robot con apariencia de mujer. Pero aunque androide es válido para ambos sexos, si fuésemos aún más precisos deberíamos referirnos al prototipo como ginoide, puesto que es de aspecto femenino.

Pero más allá de las distintas definiciones es interesante también conocer el aspecto más relacional entre el ser humano y los robots. La familiaridad y, por lo tanto, la tranquilidad que inspiran las máquinas depende en mucho grado de la forma física de éstas. Veremos que no es lo mismo estar delante de un robot industrial (por ejemplo, uno constituido de un brazo mecánico para pintar coches), que estar frente a un androide con aspecto humano hiperrealista. A este respecto, ya en 1970 Masahiro Mori⁴⁷ observó que ante la presencia de ciertos objetos había un límite entre lo que se considera agradable y lo que roza lo grotesco. En el ejemplo anterior, ante la compañía de androides con aspecto puramente humano (pieles de silicona, pelos, ojos de cristal, etc.) generalmente se produce en el espectador una sensación “inquietante” y en cierto modo incómoda. Este efecto es el que definió Masahiro Mori como “*Uncanny Valley*”⁴⁸ o valle inquietante (Fig. 9). Lo compara con la sensación que produce el dar la mano a una persona amputada que lleva una prótesis: el tacto suave pero frío del látex o la silicona y la rigidez de la

⁴⁶ SERRA, L. “*No som blancs ni negres, tots som taronges*”. Diario Ara, 19 de enero de 2011.

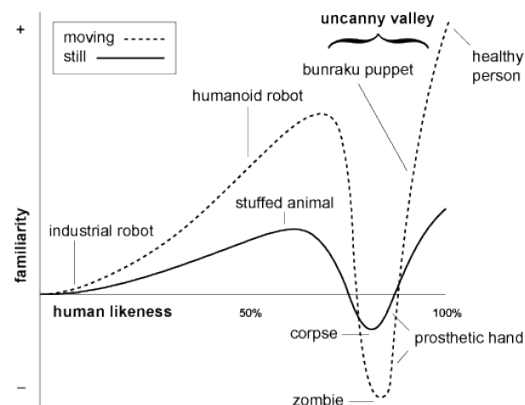
⁴⁷ Masahiro Mori es presidente emérito de la *Robotics Society of Japan*, además de haber sido profesor en el *Tokyo Institute of Technology*.

⁴⁸ MORI, M. 1970. “*The Uncanny Valley*”. *Energy*, 7(4), pp. 33-35. Traducido por Karl F. MacDorman y Takashi Minato.

<http://www.androidscience.com/theuncannyvalley/proceedings2005/uncannyvalley.html>

(Consultado el 19 de agosto de 2013).

estructura, a pesar de su forma completamente humana, crea esa extraña sensación de estar delante de algo que no cumple las reglas naturales.



(Fig. 9) Diagrama del Uncanny Valley de Masahiro Mori

Así, un androide de los de hoy en día que intente imitar cien por cien al humano seguramente provocará una reacción situada en esa región llamada Valle Inquietante. Quizá en un futuro se consiga replicar perfectamente al ser humano, pero de momento no se ha llegado a ese punto y siempre hay algún factor que revela que es un ser artificial.

Es por eso que recomienda, por ejemplo, inspirarse en las esculturas de Buda de madera a la hora de hacer las manos⁴⁹: *“Artist who makes statues of Buddhas created a model of a human hand that is made from wood. The fingers bend at their joints. The hand has no finger print, and it assumes the natural color of wood. But we feel it is beautiful and there is no sense of the uncanny. Maybe wooden hand can serve as a reference for future design”*.



(Fig. 10) Robot de bebé que puede situarse en el Uncanny Valley

⁴⁹Ibíd.

2.5 COMUNICACIÓN

La experiencia comunicativa del ser humano a lo largo de su historia ha sido lo que le ha brindado la posibilidad de crecer intelectualmente, tanto a nivel individual como al de sociedad compleja. Es por eso que una comunicación entre diferentes entes inteligentes es la clave para la transmisión de ideas y la ampliación recíproca del intelecto. En el caso que nos ocupa, la comunicación entre una IA y el ser humano sería fundamental para el desarrollo de ambas partes.

En este apartado trataremos brevemente primero la comunicación desde un punto de vista genérico, en el que explicaremos los aspectos necesarios para que ésta se dé, además de exponer las implicaciones en el hecho comunicativo. Seguidamente analizaremos nuestro caso concreto, estudiando los aspectos y las partes que la integran.

En el estudio de la comunicación en sí encontramos que antiguamente el término se refería a *“la comunión, la unión, la puesta en relación y el compartir algo.”*⁵⁰ Sin embargo, hoy en día la comunicación no está tan relacionada con la relación interpersonal, ya que el paradigma comunicativo ha cambiado mucho desde los orígenes, surgiendo, por ejemplo, los medios de comunicación masiva, en los que el receptor rara vez comunica su parecer al emisor. De aquí que se haya definido como *“el propio sistema de transmisión de mensajes o informaciones, entre personas físicas o sociales, o de una de éstas a una población, a través de medios personalizados o de masas, mediante un código de signos también convenido o fijado de forma arbitraria.”*⁵¹

Otra definición de *“comunicación”* podría entenderse como *“el proceso básico para la construcción de la vida en sociedad, como mecanismo activador del diálogo y la convivencia entre sujetos sociales.”*⁵² La comunicación es,

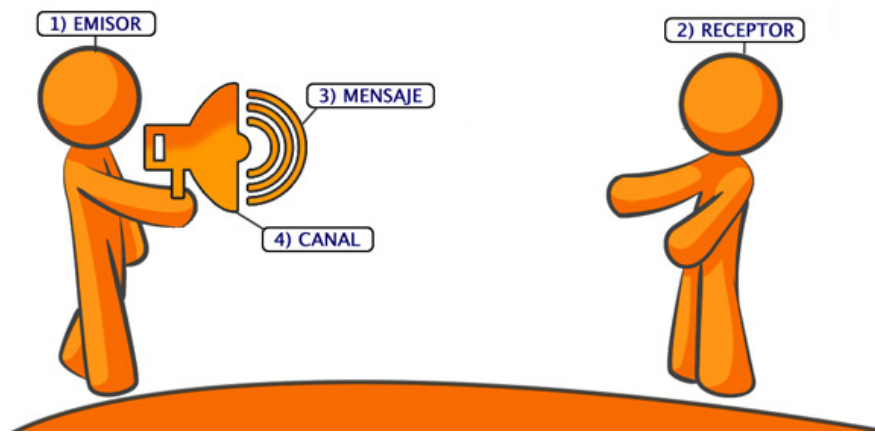
⁵⁰ RIZO, M. *La comunicación: ciencia, objeto de estudio y campo profesional. Posibilidades para la construcción de la comunicología en un entorno confuso.* www.revistametacom.com. PDF. (Consultado el 2 de septiembre de 2013).

⁵¹ RIZO, M. *La comunicación, ¿ciencia u objeto de estudio? Apuntes para el debate.* <http://perio.unlp.edu.ar/ojs/index.php/question/article/view/887/788> PDF. (Consultado el 3 de septiembre de 2013).

⁵² GALLINO, L. 1995 *Diccionario de Sociología*. México, Siglo XXI.

además, “la única manera de que disponemos para ponernos en contacto con los demás y, aun cuando no nos demos cuenta de cuánto dependemos de ella, constituye el centro de nuestra existencia.”⁵³ De este modo podemos ver que realmente las relaciones humanas dependen de la comunicación como elemento de intercambio de conocimiento, además de evitar el aislamiento individual y ser “el fundamento de la construcción de los mundos de la vida, es el conjunto de asociaciones entre procesos de la experiencia, que permite la construcción de mundos compartidos.”⁵⁴

Para que exista comunicación se necesitan cuatro elementos indispensables, siendo estos: un emisor, un mensaje, un medio o canal y un receptor (Fig. 11).



(Fig. 11) Esquema de comunicación entre un emisor y un receptor

El primero de ellos es el encargado de formular y emitir el mensaje, que estará cifrado por una serie de signos previamente convenidos. El medio es la vía por la cual se transmite el mensaje, siendo las ondas hertzianas para la radio, por ejemplo, o el aire para la voz. En cuanto al receptor, es aquel a quien va dirigido el mensaje (o quien lo intercepta), que se ocupa de descifrar e interpretar el mensaje. Cabe decir que el emisor y el receptor no tienen por qué

⁵³ BORDEN, G., STONE, J. 1982 *La comunicación humana*. Buenos Aires, El Ateneo.

⁵⁴ RIZO, M. *La comunicación, ¿ciencia u objeto de estudio? Apuntes para el debate*.

<http://perio.unlp.edu.ar/ojs/index.php/question/article/view/887/788> PDF. (Consultado el 3 de septiembre de 2013).

compartir el mismo tiempo ni espacio, ya que un mensaje puede ser pensado y lanzado para ser recibido por un receptor distante temporal y/o espacialmente.

Paul Watzlawick⁵⁵ establece cinco axiomas para la comunicación, que como tales se cumplen siempre, siendo⁵⁶:

1. *One cannot not communicate.* Todo comportamiento es una forma de comunicación, con lo que no se puede no comunicar.
2. *Human beings communicate both digitally and analogically.* Se entiende como “*digitally*” a la comunicación verbal, mientras que “*analogically*” se refiere a cómo se dice, que puede incluir tono irónico, imperativo, desafiante, etc.
3. *Communication has a content and a relationship aspect.* Entre dos comunicantes existe el contenido de lo que dice, así como una relación implícita (por ejemplo, aunque el mensaje “dame un beso” es el mismo en todos los casos, no será igual si nos lo dice la pareja, la madre o un desconocido).
4. *The nature of a relationship depends on how both parties punctuate the communication sequence.* En la comunicación entre dos entidades el orden de los mensajes puede cambiar totalmente la relación y, por consiguiente, lo que se comunica.
5. *All communication is either symmetrical or complementary.* En el primer caso, la simetría marca la actitud del intercambio (por ejemplo, una disputa que va subiendo de tono por ambas partes), mientras que una comunicación complementaria supone lo contrario (en la misma disputa, uno va subiendo el tono mientras el otro se va acobardando).

⁵⁵ Paul Watzlawick fue uno de los autores del Constructivismo radical y de la Teoría de la comunicación.

⁵⁶ Extraído de <http://www.colorado.edu/communication/meta-discourses/Theory/watzlawick/> (Consultado el 12 de septiembre de 2013).

En nuestro caso el emisor es la supuesta IA, que lanza el mensaje a través del busto animatrónico (medio) para ser interpretado por el espectador, que es el receptor. El hecho de que el receptor no sea capaz de responder a la IA no supone que no haya comunicación, en todo caso lo que no hay es interacción. La forma de codificar el mensaje es a través de código binario, es decir unos y ceros, de manera que cuando el animatrónico abre los párpados está lanzando un bit con valor “1” y cuando los cierra emite un “0”. Esta codificación, correspondiente a la establecida en el sistema Unicode (del que hablaremos en el siguiente apartado), se rige por unas leyes preestablecidas en un principio arbitrariamente y por consenso. Esto permite fijar, por ejemplo, la secuencia binaria correspondiente a cada carácter, de forma que su transducción sea universal. Sin embargo, un error en la recepción de un solo bit cambiaría por completo el mensaje comunicado.

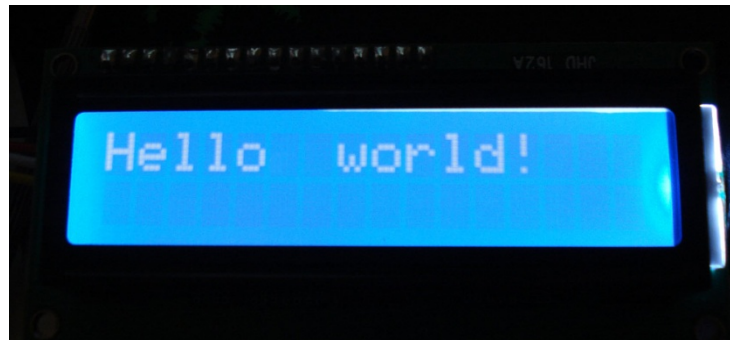
2.6 UNICODE, LENGUAJES DE PROGRAMACIÓN Y CÓDIGO

BINARIO

*“Unicode provides a unique number for every character,
no matter what the platform,
no matter what the program,
no matter what the language.”⁵⁷*

Una de las cuestiones que había que resolver al plantear este proyecto es qué tipo de lenguaje usaría una IA que quisiera comunicarse. Lo primero que nos vino a la cabeza es la típica frase “Hello world!” (Fig. 12) que se usa como primer ejercicio para los estudiantes de programación informática en general.

Si bien este mensaje en sí sería un guiño humorístico, nos surgió la duda de en qué idioma debería estar escrito. Por un lado, en inglés parecería más “internacional” aunque en castellano tampoco estaba mal (¡Hola mundo!)... Pero más allá de esto, ¿por qué debería una máquina conocer cualquiera de nuestras lenguas? Además, ¿qué clase de idioma utilizan las máquinas?



(Fig. 12) Hello world! en una pantalla LCD

Estas dudas hicieron iniciarnos en la investigación sobre los lenguajes de programación, de los que se estiman que hay alrededor de 2.500 diferentes⁵⁸, que sirven para dar órdenes a las máquinas. Pero precisamente eso es lo que ocurre: que realmente estos lenguajes son para comunicarse el hombre con la máquina y no al revés.

⁵⁷ Página oficial de *Unicode Consortium*: <http://www.unicode.org/> (Consultado el 17 de julio de 2013).

⁵⁸ “The lenguaje list”: <http://people.ku.edu/~nkinners/LangList/Extras/langlist.htm> (Consultado el 16 de julio de 2013)

Esto nos hizo analizar la forma más elemental de la comunicación de la máquina actual con el hombre, viendo que se basa en el código binario. Así, pues, buscamos un lenguaje estándar que tradujera unos y ceros a texto y viceversa y dimos con ASCII⁵⁹ (Fig. 13).

	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	A	B	C	D	E	F
0	00 0000 NUL	01 0001 SOH	02 0010 STX	03 0011 ETX	04 0100 EOT	05 0101 ENQ	06 0110 ACK	07 0111 BEL	08 1000 BS	09 1001 HT	10 1010 LF	11 1011 VT	12 1100 FF	13 1101 CR	14 1110 SO	15 1111 SI
1	16 0001 DLE	17 0010 DC1	18 0011 DC2	19 0100 DC3	20 0101 DC4	21 0110 NAK	22 0111 SYN	23 1000 ETB	24 1001 CAN	25 1010 EM	26 1011 SUB	27 1100 ESC	28 1101 FS	29 1110 GS	30 1111 RS	31 0000 US
2	32 0010 SP	33 0011 !	34 0100 "	35 0101 #	36 0110 \$	37 0111 %	38 1000 &	39 1001 '	40 1010 (41 1011)	42 1100 *	43 1101 +	44 1110 ,	45 1111 -	46 0000 .	47 0001 /
3	48 0011 0	49 0100 1	50 0101 2	51 0110 3	52 0111 4	53 1000 5	54 1001 6	55 1010 7	56 1011 8	57 1100 9	58 1101 :	59 1110 ;	60 1111 <	61 0000 =	62 0001 >	63 0010 ?
4	64 0100 @	65 0101 A	66 0110 B	67 0111 C	68 1000 D	69 1001 E	70 1010 F	71 1011 G	72 1100 H	73 1101 I	74 1110 J	75 1111 K	76 0000 L	77 0001 M	78 0010 N	79 0011 O
5	80 0101 P	81 0110 Q	82 0111 R	83 1000 S	84 1001 T	85 1010 U	86 1011 V	87 1100 W	88 1101 X	89 1110 Y	90 1111 Z	91 0000 [92 0001 \	93 0010]	94 0011 ^	95 0100 _
6	96 0110 '	97 0111 a	98 1000 b	99 1001 c	100 1010 d	101 1011 e	102 1100 f	103 1101 g	104 1110 h	105 1111 i	106 0000 j	107 0001 k	108 0010 l	109 0011 m	110 0100 n	111 0101 o
7	112 0111 p	113 0110 q	114 0111 r	115 1000 s	116 1001 t	117 1010 u	118 1011 v	119 1100 w	120 1101 x	121 1110 y	122 1111 z	123 0000 {	124 0001 	125 0010 }	126 0011 ~	127 0100 DEL

(Fig. 13) Tabla del código ASCII con sus valores decimales, binarios y hexadecimales

En un principio, el código ASCII era un código de 7 bits, de modo que sólo podían conseguirse 128 combinaciones, que incluían los números del 0 al 9, las letras del alfabeto latino básico en minúsculas y en mayúsculas (sin “ñ” ni “ç”, por ejemplo), además de órdenes no imprimibles como “Escape”, “Suprimir”, etc. Como es de suponer, con el paso del tiempo se quedó corto para la gran cantidad de caracteres necesarios globalmente, así que surgieron otros estándares que no voy a centrarme a explicar aquí, pues el único que realmente nos interesa para desarrollar este proyecto es Unicode, que explicaremos brevemente a continuación.

⁵⁹ ASCII: *American Standard Code for Information Interchange*, creado en 1963 por la *American Standard Association*, es un código inicialmente de 7 bits usado para la transformación de caracteres latinos a binario, es decir, unos y ceros.

Según el *Unicode Consortium*, “Unicode proporciona un número único para cada carácter, sin importar la plataforma, sin importar el programa, sin importar el idioma”. Así, pues, actualmente Unicode recoge más de 110.000 caracteres, incluyendo alfabetos de diferentes idiomas, signos de puntuación, emoticonos, símbolos musicales y un larguísimo etcétera, siendo el código estandarizado más usado a nivel mundial.

A través de su página web podemos acceder a las “Code Charts”⁶⁰, donde se recogen todos los caracteres con su correspondiente número hexadecimal, asignado por convenio. Si quisiéramos, por ejemplo, imprimir un carácter concreto en este documento mismo, tendríamos que convertir su correspondiente número hexadecimal en decimal y, manteniendo la tecla “ALT” apretada, marcarlo. Sirva como ejemplo la letra griega pi (π), que tiene asignado el hexadecimal 03C0. Convertido a decimal corresponde a 960, de modo que si mantenemos “ALT” apretado y marcamos ese número sale el carácter π .

Lo importante aquí es ver que cada signo tiene establecido un número que lo identifica. En realidad éste está expresado en las *Code Charts* como hexadecimal para acortarlo, pero también podría expresarse en binario. Para el ejemplo de π , su correspondiente sería 1111000000⁶¹.

En la red existen varios conversores de caracteres Unicode a binario⁶², donde se pueden escribir textos y transcribirlos a código binario. Si cogemos como ejemplo “Hello world!”, obtendríamos “01001000 01100101 01101100 01101100 01101111 00100000 01110111 01101111 01110010 01101100 01100100 00100001”.⁶³

Arduino también nos brinda la posibilidad de convertir caracteres Unicode a binario, de modo que desarrollando un programa adecuado

⁶⁰ <http://www.unicode.org/charts/> (Consultado el 18 de julio de 2013).

⁶¹ Obtenido a través de un conversor matemático en la red: <http://www.mathsisfun.com/binary-decimal-hexadecimal-converter.html> (Consultado el 18 de julio de 2013).

⁶² En concreto hemos usado este conversor: <http://textmechanic.com/ASCII-Hex-Unicode-Base64-Converter.html> (Consultado el 18 de julio de 2013).

⁶³ Hemos separado las secuencias de cada letra por un espacio para su mejor visualización, pero en realidad serían los 96 dígitos seguidos.

podríamos cifrar mensajes que nuestro animatrónico interpretaría abriendo y cerrando los párpados, moviendo los ojos de un lado a otro, abriendo la boca y/o levantando las cejas, traduciendo a lenguaje gestual el input numérico, ya que, de momento, no le hemos implementado la posibilidad de emisión sonora, pues no forma parte de las necesidades de nuestra hipótesis. Sin embargo, esta secuencia (“Hello World!” en binario) es la que utilizaremos en nuestro prototipo como prueba inicial, aunque más adelante quisiéramos desarrollar un mensaje y un sistema más elaborados.

A todo esto, aunque un mensaje textual pueda ser interesante de por sí, creemos que uno gráfico también puede aportar más riqueza, como veremos en el siguiente apartado.

2.7 EL MENSAJE DE ARECIBO

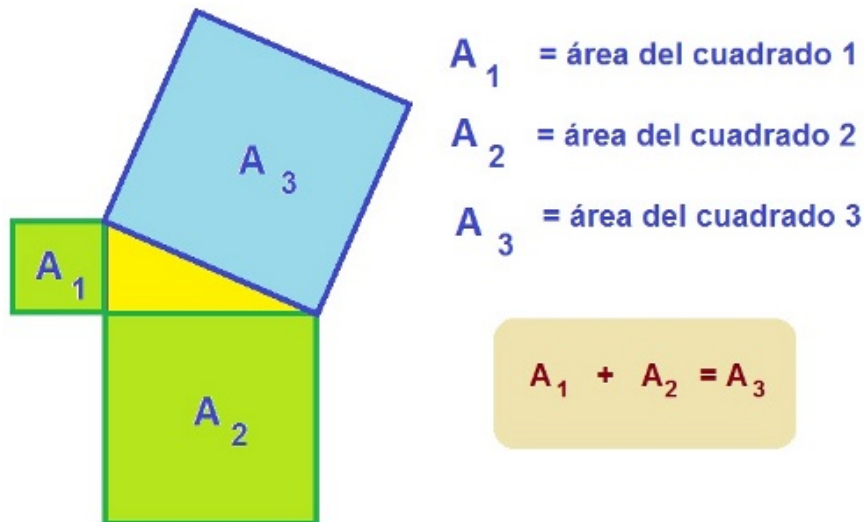
Otra de las formas de comunicación que hemos considerado que debíamos de tener en cuenta es la gráfica, que a priori podía llegar a un mayor número de receptores (con la educación gráfica necesaria). Sin embargo, desarrollar un método eficiente para la transformación de una imagen en unos y ceros y su correspondiente descodificación supone una gesta imposible con nuestros conocimientos y el tiempo del que hemos dispuesto. De aquí que pensásemos en recurrir a casos en los que se hubiesen enviado gráficos en forma de código binario sin tener que usar protocolos informáticos, como en el caso de envíos de imágenes tipo .JPG o .TIFF, por ejemplo. Realizando una pequeña investigación sobre el tema, encontramos varios casos muy interesantes⁶⁴.

A lo largo de la historia, la humanidad ha pretendido en diversas ocasiones ponerse en contacto con posibles inteligencias extraterrestres. Aunque finalmente no se llevaron a cabo, hubo ideas en la que se propuso hacerlo gráficamente, como en el caso de Karl Friedrich Gauss⁶⁵ en 1826: modificando unos bosques de Siberia se realizaría un triángulo rectángulo gigantesco con cuadrados adosados a sus lados representando el Teorema de Pitágoras (Fig. 14). Más adelante, en 1869, encontramos el caso de Charles Cros⁶⁶, quien pretende enviar imágenes codificadas en forma de pulsos lumínicos a la Luna y a Marte.

⁶⁴ VAKOCH, D. 1998. Signs of Life beyond Earth: A Semiotic Analysis of Interstellar Messages. Leonardo, 31,4.

⁶⁵ Johann Carl Friedrich Gauss (1777-1855), fue un matemático, astrónomo, geodesta, y físico alemán que contribuyó significativamente en campos como la teoría de números, el análisis matemático, la geometría diferencial, la estadística, el álgebra, la geodesia, el magnetismo y la óptica.

⁶⁶ Charles Cros (1842-1899), fue un físico, poeta e inventor francés que, entre otras cosas, desarrolló en paralelo a otros investigadores la fotografía a color y el paleófono (similar al fonógrafo de Thomas Edison).



(Fig. 14) Representación gráfica del Teorema de Pitágoras

Sin embargo, no quisieramos hacer una larga disertación con ejemplos como los anteriores, pues no es el objeto de este proyecto. La única intención es la de introducir uno de los casos que realmente nos inspiró: el Mensaje de Arecibo⁶⁷ (Fig. 15). Lanzado en forma de ondas de radio el 16 de noviembre de 1974 al espacio exterior, desde el radiotelescopio⁶⁸ situado en el pueblo puertorriqueño del que adoptó su nombre, es uno de los ejemplos más paradigmáticos en la tentativa de establecer comunicación con inteligencias más allá de nuestro sistema solar. El mensaje fue diseñado por Frank Drake, Carl Sagan y otros científicos, aunque su intención real no fue la de comunicarse con el exterior, si no conmemorar la reparación y acondicionamiento del gigantesco radiotelescopio de Arecibo.

La frecuencia en la que fue lanzado fue de 2380 MHz, cambiando a 10 Hz y una potencia de 1000 kW y se tardó menos de tres minutos en transmitirlo, a 10 bits por segundo. Estaba compuesto por 1679 bits (unos y ceros), resultado de la multiplicación de los números primos 23 y 73. Ordenándolos correctamente en sendas filas y columnas se obtenía una especie de tablilla

⁶⁷ Página oficial: <http://www.naic.edu/> (Consultado el 11 de julio de 2013).

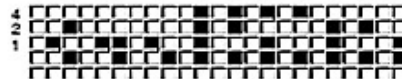
⁶⁸ Un radiotelescopio está formado por una gran antena parabólica, o varias, que capta ondas de radio, a diferencia de un telescopio ordinario, que trabaja con luz visible. Las ondas de radio observadas provienen normalmente de púlsares y galaxias activas, que emiten radiaciones de radiofrecuencia.

donde se explicaban gráficamente varios aspectos de la vida humana en la Tierra, entre ellos: la forma helicoidal de nuestro ADN, la población aproximada en la Tierra, nuestra posición en el Sistema Solar, la composición química de nuestro cuerpo, etc.

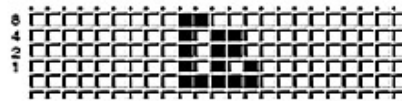
How to decypher the message

Original 1974 message

10 9 8 7 6 5 4 3 2 1

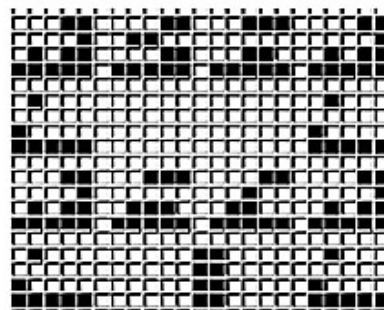


Showing decimal numbers 1-10

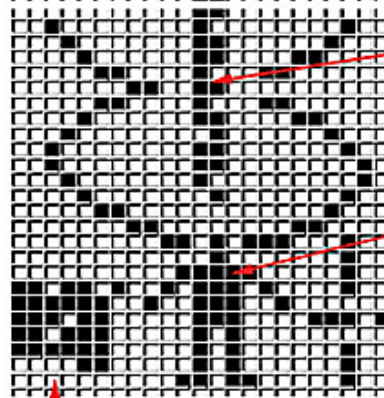


Atomic Numbers for
 1 = Hydrogen 8 = Oxygen
 6 = Carbon 15 = Phosphorus
 7 = Nitrogen

15.8.7.6.1

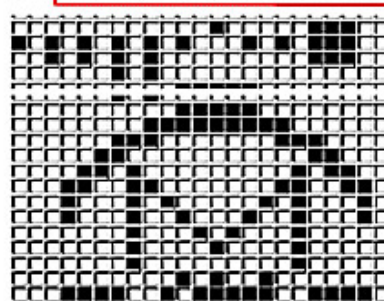


Formulas for Sugars and Bases in Nucleotides of DNA



Number of Nucleotides in DNA

DNA Double Helix



Human

Height of Human
 = 14 * 12.6cm = 176.4cm = approx 5'9"

Population of Earth
 110110
 111111
 111011
 110111
 111111
 11



The Solar System
 (highlighting the third planet)



The Arecibo Telescope

Diameter of telescope
 (2.430 wavelength units)

(Fig. 15) Mensaje de Arecibo y su significado

Douglas Vakoch⁶⁹, director del *Interstellar Message Composition* en el *SETI Institute (Search for ExtraTerrestrial Intelligence)*, dice⁷⁰ que este intento de comunicación tan elaborado genera ciertas dudas respecto a la correcta recepción y descifrado por parte del destinatario. Primero está el hecho de que deben de recibirse cada uno de los bits de información correctamente, desde el primero hasta el último sin perder uno solo. Si no fuese así, no habría manera de deducir que esos bits recibidos estarían formando una tabla gráfica producto de dos número primos. Luego está el hecho de que el receptor debe también tener un sistema perceptivo similar al humano y que posea el sentido de la vista. Así, tras lanzar este mensaje al espacio exterior la única esperanza de ser recibida y luego interpretada correctamente es casi nula.

Esta idea es la base de nuestro trabajo: poner de manifiesto la dificultad que existe para comunicarse entre dos seres, digamos, inteligentes, que no tienen porqué hacerlo de una forma parecida. Así, nuestro busto animatrónico, que es una modesta emulación de Inteligencia Artificial, en un trabajo futuro podría lanzar un mensaje en código binario emitido a través de los servos de la cara animatrónica, que el espectador recibiría como parpadeos y gesticulaciones aparentemente sin sentido. Sin embargo, si este receptor fuese capaz de descodificar las secuencias obtendría un mensaje completo y con sentido como el de Arecibo.

⁶⁹ Página web: <http://www.seti.org/users/douglas-vakoch> (Consultado el 15 de agosto de 2013).

⁷⁰ VAKOCH, D. Op. Cit. Pág. 40.

3. REFERENTES EN EL ARTE ROBÓTICO

"I think everybody should be a machine. I think everybody should like everybody."

"I want to be a machine, and I feel that whatever I do and do machine-like is what I want to do."

Andy Warhol⁷¹

Desde siempre el desarrollo del arte ha ido ligado al de la sociedad en la que se encuentra inmerso. Si echamos un vistazo a lo largo de la historia veremos ejemplos en los que se refleja esto con claridad y el caso que nos ocupa (arte robótico) no es una excepción. Las piezas y performances que se generan en este nuevo arte hubiesen sido inimaginables tan solo un siglo atrás, pero cada día que pasa se extiende más y más, teniendo tecnología cada vez más asequible y fácil de utilizar. Por ejemplo, en los años 60 sólo unos pocos artistas tenían acceso, por así decirlo, al mundo de la robótica. Sin embargo, hoy en día cualquiera puede acceder, entender e incluso programar robots y sistemas más o menos complejos por medio de tutoriales alojados en la red, por ejemplo. En la actualidad, esta disponibilidad de material e información está haciendo crecer el número de artistas que trabajan con la robótica, haciendo obras cada vez más complejas y completas.

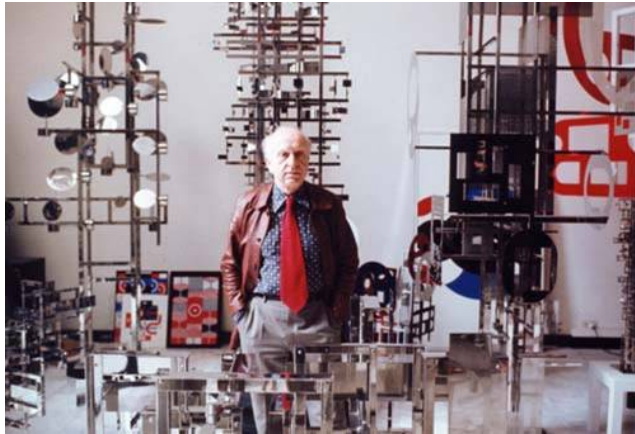
El arte robótico está generalmente asociado a la idea de la sociedad que convive con máquinas, una sociedad que cada vez depende más de ellas y en la que el límite entre humano y máquina se está disolviendo (un claro ejemplo es el concepto de "ciborg"). Además de esta idea de la sociedad robotizada, también es una muy recurrente la que habla sobre la IA, como sucede en nuestro caso.

Ya en los años 60, Nicholas Schöffer⁷² (Fig. 16) hizo las primeras instalaciones interactivas robotizadas. Una de las más importantes es la "CYSP 1" (*CYbernetic SPatiodynamic 1*, (Fig. 17)), de 1956, considerada la primera

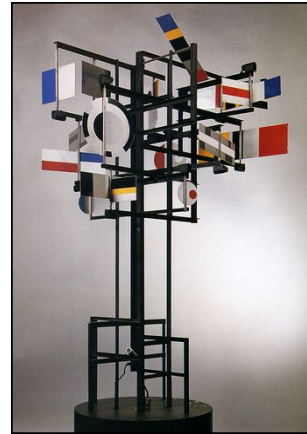
⁷¹ SWENSON, G. 1963. "ANDY WARHOL, *Interview with Gene Swenson, What is Pop Art?*", Art News. PDF.

⁷² Nicholas Schöffer está considerado como el padre del arte cinético.

escultura cinética. Era un sistema robótico interactivo que reaccionaba a cambios de luz y sonido de la estancia y se utilizó en performances con bailarines. Las variantes en cuanto a su modo de actuar le daban un aspecto de ente inteligente que rompía con todo lo visto hasta entonces.



(Fig. 16) Nicolas Schöffer con sus creaciones



(Fig. 17) CYSP 1

Las composiciones escultóricas cinéticas de Schöffer iban cargadas de todo el estudio cinético por parte de autores como Warren McCulloch⁷³, que se basaban en la relación entre la psique del observador y la del ambiente circundante. De este modo, se daba importancia a la interacción entre el espectador y la obra de arte.

Otra de las figuras clave en el proceso del arte robótico fue Frank J. Malina, que resulta interesante para nuestro proyecto por obras como las “*kinetic paintings*” (Fig. 18), en las que usaba luz y movimiento motorizado. Malina decía⁷⁴ que el universo que teníamos en mente como algo estático en realidad no lo era en absoluto, que había turbulencias en el sol, cometas viajando por el espacio, cataclismos interestelares, etc., y que siempre había movimiento. En cuanto al papel del artista, decía que era el que debía aportar

⁷³ Warren McCulloch: (1989-1969) neurólogo y cibernético estadounidense, conocido por sus trabajos en neurociencia y cibernética.

⁷⁴ Extraído de www.fondation-langlois.org/html/e/page.php?NumPage=233# (Consultado el 10 de junio de 2013).

KOFFLER, S. 1982. "Obituary: Frank J. Malina (1912-1981)", Leonardo, 15,1.

a la sociedad un retrato estético de lo que sucedía en el mundo, o incluso hacer mofa de ello.



(Fig. 18) "Nebula VI", pintura cinética de Frank Malina

Para Malina, una pintura o una escultura estática, tras un primer momento de interés por parte del espectador, llegaba a perder paulatinamente la atracción, cosa que se podía solucionar otorgando movimiento a la pieza en cuestión. Por eso Malina creaba ciclos largos o incluso infinitos, de manera que la atención del espectador no se viese truncada por la repetición o la monotonía. Esta idea nos sirve como argumento respecto al uso de esculturas animadas para llegar a un diálogo más amplio con el espectador.

Retomando el arte interactivo, no podría faltar Edward Ihnatowicz⁷⁵, quien en los años 60 y 70 desarrolló piezas interactivas como "SAM" (*Sound Activated Mobile*) (Fig. 19) o "The Senster" (Fig. 20). SAM fue la primera escultura móvil que reaccionaba a la presencia del público, concretamente a través del sonido recogido por cuatro micrófonos escondidos en su armazón. Tenía una forma parecida a una columna vertebral de cuatro huesos hechos en aluminio que sostenía una estructura parecida a una flor de fibra de vidrio, donde se encontraban los micrófonos. Entre las piezas de metal había unos pequeños pistones hidráulicos que hacían que se moviese para los lados y delante y atrás, según estuviese el origen del sonido recogido por el sistema.

⁷⁵ Página web dedicada a él: <http://www.senster.com/> (Consultado el 7 de agosto de 2013).

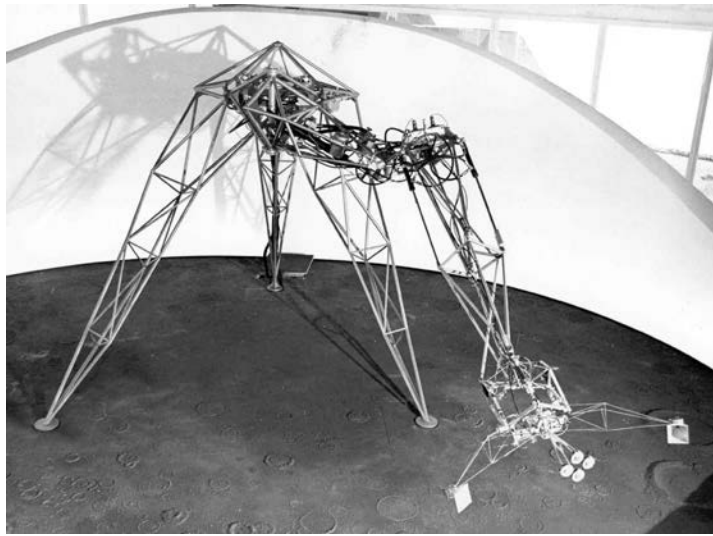


(Fig. 19) "SAM", de Edward Ihnatowicz

SAM fue expuesto por primera vez en la "Cybernetic Serendipity", primero en Londres en 1968⁷⁶ y más tarde en Canadá y los Estados Unidos. Este sistema creó una auténtica fascinación por parte de los espectadores, ya que conseguía retenerlos durante mucho tiempo haciendo ruidos para que SAM los "mirase".

En cuanto a "The Senster", que fue la que más fama dio a Edward Ihnatowicz, fue la primera escultura robótica interactiva controlada por un ordenador. Medía cuatro metros de longitud y estaba hecha con barras de acero, dándole el aspecto de una torreta eléctrica. Respondía al sonido y al movimiento del público de la exhibición, que captaba mediante micrófonos y radares, acercándose al ruido suave de la sala, mientras que sonidos fuertes hacían que se retirase como si fuese un animal asustado. El sistema parecía muy sofisticado e impredecible (aunque en realidad no lo era tanto) y ciertamente aparentaba tener una personalidad propia.

⁷⁶ Vídeo sobre SAM: http://www.youtube.com/watch?v=8b52qpyV_g (Consultado el 6 de septiembre de 2013).



(Fig. 20) "The Senster" de Edward Ihnatowicz⁷⁷

En la actualidad se están realizando trabajos artísticos robóticos de manera muy refinada en cuanto a su ejecución, aunque de momento no se ha llegado al punto en el que se elimine la artificialidad referente al movimiento de las máquinas. En su artículo "*Metal performance: humanizing robots, returning to nature, and camping about*"⁷⁸, Steve Dixon nos habla acerca de las performances con autómatas, a las que etiqueta de irónicas y exageradas con "*movimientos antinaturales de los robots humanoides*"⁷⁹. Esto sucede en la mayoría de casos, pues la naturalidad en el movimiento humano aún no ha podido ser recreada con exactitud y siempre hay algún detalle, por pequeño que sea, que chirría y que nos recuerda que estamos frente a un ente artificial. Según él, sería un fallo el querer imitar al cien por cien al ser humano: siempre faltarían elementos como, por ejemplo, la capacidad de sonrojarse, el leve movimiento de enfoque de las pupilas, la respiración al hablar, el sudor en la piel... Además, cuestiona para qué serviría crear una simulación que

⁷⁷ Vídeo sobre *The Senster*:

<http://www.youtube.com/watch?v=1jDt5unArNk&list=PL3012A83A571C4BD7&index=2>

(Consultado el 6 de septiembre de 2013).

⁷⁸ DIXON, S. 2004. "*Metal performance: humanizing robots, returning to nature, and camping about.*" TDR: The Drama Review, 48, 4. Artículo.

⁷⁹ *Ibíd.* p.17.

suplantase lo simulado, afirmando que se tiene que aprovechar esta tosquedad en el arte robótico actual para hablar precisamente de nuestras propias imperfecciones y nuestras aspiraciones. En un texto de Baudrillard⁸⁰ podemos encontrar una reflexión en cuanto a la simulación:

“Todo dilema está en esto: o bien la simulación es irreversible y no hay un más allá de la simulación, no hay un acontecimiento, es nuestra banalidad absoluta, una obscenidad de todos los días, el nihilismo definitivo y nos preparamos para una repetición insensata de todas las formas de nuestra cultura en espera de un nuevo acontecimiento imprevisible —¿pero de dónde podría venir?—; o bien hay por lo menos un arte de la simulación, una cualidad irónica que resucita cada vez las apariencias para destruirlas.”

Esta simulación, que en realidad ha estado siempre presente en la historia del arte, es la que menciona Steve Dixon y es, según él, la que no hemos de perder de vista y con la que hemos de trabajar. Un ejemplo de esto son los trabajos de Chico MacMurtrie (fundador de ARW, acrónimo en inglés de *Amorphic Robot Works*)⁸¹ en los que utiliza arte robótico interactivo, performances y esculturas de gran formato, pero sin intentar llegar al hiperrealismo. Una de sus obras que nos resulta más interesante es *“Skeletal Reflections”* (Fig. 21), del año 2000⁸². Se trata de un robot humanoide, al que se le ven todos los engranajes y mecanismos, que analiza e imita la postura del espectador a través de un programa de *motion capture*, buscando referentes del arte clásico en el que se toma también esa postura, narrándolo a tiempo real. La idea original partió del lenguaje corporal como vía universal de comunicación, de manera que se recurrió al arte clásico y la pieza evolucionó para ser una especie de profesor robótico interactivo que busca posturas consideradas tradicionalmente como *“bellas”*.

⁸⁰ BAUDRILLARD, J. 1997. *Illusion, désillusion esthétiqu*e. París: Sens&Tonka. Extraído de la revista digital “Arte, Sociedad e Individuo”, en un artículo de Noemí Ávila Valdés: http://www.arteindividuoy sociedad.es/articulos/N15/Noemi_Avila.pdf (Consultado el 4 de agosto de 2013);

⁸¹ Página web: <http://amorphicrobotworks.org/works/index.htm> (Consultado el 5 de agosto de 2013).

⁸² Vídeo: <http://www.fondation-langlois.org/html/e/media.php?NumObjet=13840> (Consultado el 2 de julio de 2013).

A nivel comunicativo, si pensamos en el aprendizaje de un niño, por ejemplo, una de las vías más útiles y recurrentes es la imitación de los actos de las personas que le rodean. Esto también sucede también con la comunicación entre especies (chimpancés, orangutanes,...), o entre personas que no hablan el mismo idioma. Esta idea de la imitación era una de las primeras que barajamos a la hora de desarrollar el presente proyecto y el prototipo, queriendo hacer una cara que imitase las expresiones del espectador. No obstante, la descartamos por motivos técnicos evidentes, ya que la complejidad que conlleva una pieza así está fuera de nuestras posibilidades actuales.



(Fig. 21) *Skeletal Reflexions*, de Chico MacMurtrie

Otro de los artistas en la línea de Chico MacMurtrie es Bill Vorn⁸³, un artista robótico canadiense cuyo trabajo suele consistir en instalaciones en las que mezcla robótica, sonido, luz, vídeo e interactividad, normalmente abordando temas sobre la vida y los comportamientos artificiales.

Tiene varias instalaciones muy inspiradoras para nosotros, pues en cierto modo habla de la humanización de las máquinas y sus posibles efectos

⁸³ Página oficial: <http://billvorn.concordia.ca/mainframe.html> (Consultado el 25 de julio de 2013).

futuros. Entre ellas quisiéramos destacar DSM-VI (Fig. 22), que es una instalación en forma de complejo casi laberíntico que recuerda a un zoo, en el que se encuentran multitud de máquinas con enfermedades mentales (más bien imitando sus efectos). Debe su nombre al manual de psicología de la *American Psychiatric Association*⁸⁴ llamado DSM (*Diagnostic and Statistical Manual of Mental Disorders*⁸⁵), que actualmente se encuentra en la versión V. De ahí que vayan un paso más adelante y añadan el VI, para hablar de un futuro casi inmediato en el que las máquinas, supuestamente, también sufrirán de enfermedades mentales como psicosis, depresión, paranoia, esquizofrenia, autismo, trastornos de personalidad, etc.

Es esta humanización y la empatía que nos generan las máquinas de este artista lo que nos atrae profundamente. En palabras del propio Bill Vorn, “*Above all, they are machines and it is mainly their behaviours that give them an organic and living aspect*”⁸⁶, poniendo de manifiesto lo que exponíamos en la introducción de este PFM.



(Fig. 22) DSM-VI en BIAN 2012 (Biennale Internationale des Arts Numériques),
Montreal, 2012

⁸⁴ Página oficial: <http://www.psych.org/> (Consultado el 25 de julio de 2013).

⁸⁵ American Psychiatric Association. 20130. *Diagnostic and Statistical Manual of Mental Disorders. Fifth Edition. DSM-5.*

⁸⁶ <http://billvorn.concordia.ca/menuall.html>, en el apartado Robography/DSM-VI (Consultado el 25 de julio de 2013).

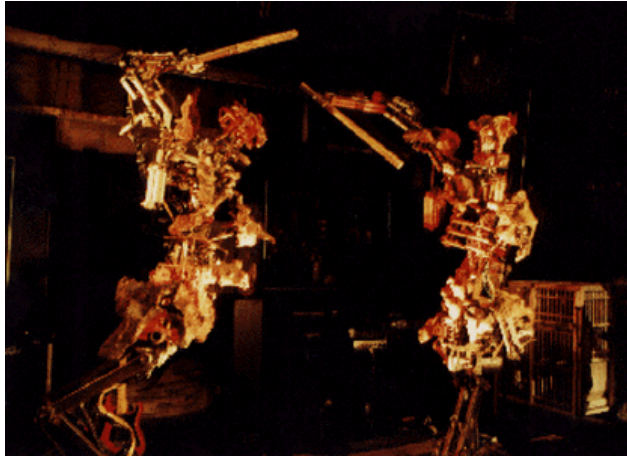
Otra de sus instalaciones que reseñamos es “*La Cour des Miracles*” (Fig. 23). Se trata de un montaje en el que las máquinas están diseñadas para simular estar sufriendo, además de gruñir y quejarse como seres vivos para conmovir al espectador. El título de la obra corresponde a uno de los barrios bajos parisinos del Medievo habitado por mendigos, prostitutas y delincuentes. Durante el día los habitantes pedían limosna haciendo ver que tenían alguna discapacidad, que les desaparecía “*milagrosamente*” por la noche. Con esta instalación el autor también dirige el foco de atención hacia la empatía que siente el observador respecto a estas máquinas por el solo hecho de estar animadas.



(Fig. 23) *La Cour des Miracles*, de Bill Vorn

Otro artista actual que se mueve en esta misma línea es Frank Garvey, fundador y espíritu de “*Omni Circus Theatre*”⁸⁷. Utiliza el arte robótico para hacer crítica de la sociedad que le rodea, usando incluso la violencia, como en el caso de la instalación “*One-legged Men at a Butt Kicking Contest*” (Fig. 24). En esta obra aparecen dos robots que están a punto de pelearse al más puro estilo barriobajero, sugiriendo que la clase obrera será sustituida por robots a todos los niveles.

⁸⁷ Página web: <http://www.omnicircus.com/> (Consultado el 7 de agosto de 2013).



(Fig. 24) *Robots de Men at a Butt Kicking Contest en acción*

Tiene, además, otras piezas robóticas interesantes como mendigos, prostitutas, predicadores callejeros, etc. (Figs. 25 y 26) que nos hablan de las clases sociales bajas en el mismo discurso, es decir, la sustitución por máquinas sintientes y nuestras reacciones ante ellas.



(Fig. 25) *Goboy, mendigo*



(Fig. 26) *Plowgirl junkie, de Garvey*

En cuanto a artistas que han utilizado el arte robótico ampliando su propio cuerpo, convirtiéndose en cierto sentido en cibernéticos, encontramos a Marcel·lí Antúnez, cofundador de “La Fura dels Baus”. Suele trabajar con mecanismos, interfaces, realidad virtual y aumentada, así como todo tipo de arte electrónico, interactivo y visual. Su trabajo más reciente es “*Pseudo*”, una obra performática en la que interviene también el público y donde Antúnez aparece en la obra vestido con una estructura con sensores y dos bafles adosados al pecho, además de una cabeza animatrónica realizada en poliéster y que es una reproducción de la suya propia (Fig. 27).



(Fig. 27) Marcel·lí Antúnez Roca en la obra "Pseudo".

Marcel·lí Antúnez escribió junto a Eduardo Kac *"Arte robótica: un manifiesto"*⁸⁸, redactado en octubre de 1996. En él se describe el arte robótico y entre otras afirmaciones encontramos:

"Los robots son objetos que funcionan en el tiempo y el espacio. Sus estructuras espacio-temporales abiertas y diversas permiten dar respuestas específicas a diferentes estímulos. Algunas de las formas que puede tomar el arte robótica incluyen agentes autónomos de espacio real, autómatas biomórficos, prótesis electrónicas integradas con organismos vivos y telerobots (incluyendo a los webots)."

Los autores defienden que el arte robótico es un nuevo tipo de arte que no tiene nada que ver ni con la pintura, ni el dibujo ni la escultura, habiéndose de categorizar por separado:

"Los robots pertenecen a una nueva categoría de objetos y situaciones que rompe con la taxonomía tradicional del arte. Donde antes se hablaba de límites y fronteras ahora encontramos nuevos territorios. Estos nuevos terrenos artísticos están abiertos a nuevas posibilidades y se relacionan entre ellos de manera productiva. En estos nuevos terrenos heterodoxos nacen criaturas híbridas sin un modelo que las preceda. Combinada con los medios de telecomunicaciones, la robótica da lugar

⁸⁸ Alojado en la página web de Eduardo Kac, en el enlace: <http://www.ekac.org/kac.roca.sp.html> (consultado el 2 de septiembre de 2013).

al arte telepresencial, en que el robot es el huésped de un sujeto alejado.”

Otro artista que debemos mencionar por su implicación con el mundo cibernético es Stelarc⁸⁹, quien trabaja con la expansión de su propio cuerpo a través de mecanismos tecnológicos. Su discurso se basa en que el ser humano ya está físicamente adaptado a su medio natural pero no a su mundo artificial, y que para ello debe crear nuevos órganos capaces, por ejemplo, de conectarlo a internet o poder realizar y recibir llamadas sin necesidad de un agente externo. Defiende que “el cuerpo humano está obsoleto”⁹⁰, frase suya que ha sido utilizada como idea base en muchas entrevistas y artículos. Una de sus obras más representativas es *Ear on arm* (Fig. 28 y 29), en la que se implantó una oreja artificial hecha en un material biocompatible que lleva un receptor y un transmisor incluidos, de forma que es capaz de recoger y enviar los sonidos que capta de su alrededor.

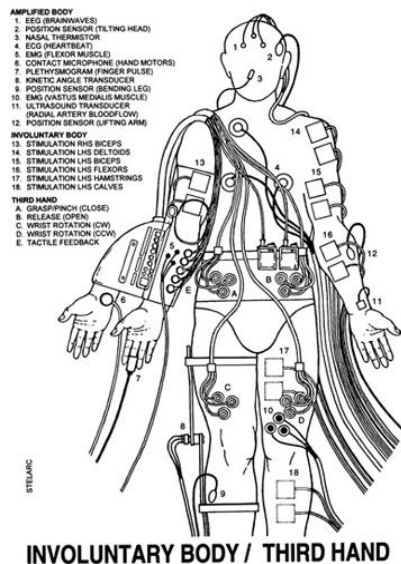


(Fig. 28) Intervención de “Ear on arm” (Fig. 29) Stelarc con su “Ear on arm”

⁸⁹ Página oficial de Stelarc: <http://stelarc.org> (Consultado el 4 de agosto de 2013)

⁹⁰ Extraído de la entrevista ofrecida a la Universidad de Stanford http://www.stanford.edu/dept/HPS/stelarc/a29-extended_body.html (Consultado el 7 de agosto de 2013).

Otro proyecto muy interesante es *Third Hand* (Fig. 30 y 31), en el que crea una tercera mano electro-mecánica conectada mediante electrodos a los músculos de su pierna y abdomen. Se trata de su obra más reconocida y la más utilizada en performances por todo el mundo durante más de dieciocho años (desde 1980 hasta 1998) y pretendía ser una parte más de su cuerpo, aunque por incomodidad e irritación de la piel por los electrodos utilizados no pudo ser. Con esta “*Third Hand*”, Stelarc defiende el uso de prótesis, no como solución a una carencia (debida generalmente por un traumatismo o una amputación), sino como una ampliación constructiva de la arquitectura del cuerpo.



(Fig. 30) Esquema de “Third Hand”



(Fig. 31) Detalle de “Third Hand”

En cuanto a artistas que hayan utilizado la animatrónica hiperrealista como expresión artística, encontramos los trabajos hechos por Nathaniel Mellors⁹¹ y los de Ken Feingold⁹², entre otros. En el caso del primero, tenemos

⁹¹ <http://www.monitoronline.org/artists/nathaniel-mellors/> (Consultado el 6 de septiembre de 2013).

⁹² <http://www.kenfeingold.com/> (Consultado el 6 de septiembre de 2013).

*Giantbum*⁹³ (Fig. 32) y *Hippy Dialectics*⁹⁴ (Fig. 33) como las más conocidas, hechas en 2008 y 2010, respectivamente. En la primera Mellors presenta tres caras animatrónicas idénticas montadas en unos soportes que permiten el movimiento facial mientras cantan y gesticulan de forma exagerada. En cuanto a la segunda, presenta dos cabezas iguales pero de diferentes personalidades y tonos de piel, unidas por una red de pelos que salen de una cara y se insertan en la otra, y que mantienen un diálogo. A través de la negación y la afirmación de diferentes declaraciones van construyendo sus personalidades.



(Fig. 32) *Giantbum de Mellors*



(Fig. 33) *Hippy dialectics de Mellors*

Respecto a la obra de Ken Feingold, quisiéramos destacar *Self Portrait in the center of the Universe*⁹⁵ (Fig. 34), realizada entre 1998 y 2001. En ella presenta una cabeza animatrónica hecha con silicona y que es una réplica de la suya propia, rodeada de una serie de marionetas, que más adelante utilizará en otras instalaciones. Frente a este grupo de personajes se proyecta en la pared un modelo virtual muy parecido al busto central, que está inmerso en un mundo en 3D por el que va navegando y en el que van apareciendo y desapareciendo figuras y personajes diversos. Entre las dos cabezas (la animatrónica y la generada por ordenador) se establece una conversación

⁹³ Vídeo sobre *Giantbum*: <http://www.youtube.com/watch?v=-j73fPX1rUM> (Consultado el 6 de septiembre de 2013).

⁹⁴ Vídeo sobre *Hippy Dialectics*: <http://www.youtube.com/watch?v=3eP8LwKtvVo> (Consultado el 6 de septiembre de 2013).

⁹⁵ Vídeo sobre la instalación: <http://www.youtube.com/watch?v=EK-7w56jN0E> (Consultado el 6 de septiembre de 2013).

generada en vivo a partir de un programa de reconocimiento de voz y de chat automático.

Ken Feingold utiliza los diálogos generados por ordenador en varias piezas más, como en el caso de *You*⁹⁶ (2004), *The Animal, Vegetable, Mineralness of Everything*⁹⁷ (2004) o *Hell*⁹⁸ (2013).



(Fig. 34) Self Portrait in the centre of the Universe



(Fig. 35) Hell de Feingold

Por último, cabe mencionar también el arte realizado puramente por robots, como en el caso de Harald Cohen⁹⁹, programador de AARON, un robot que es capaz de pintar cuadros físicamente mediante algoritmos complejos (Fig. 36). El mismo Raymond Kurzweil colabora con él a través de su fundación *Kurzweil Cyber Art Technologies*¹⁰⁰.

⁹⁶ Vídeo sobre la instalación: <http://www.youtube.com/watch?v=vOntVVBq-5I> (Consultado el 6 de septiembre de 2013).

⁹⁷ Vídeo sobre la instalación: <http://www.youtube.com/watch?v=HSBLQUWK9ls> (Consultado el 6 de septiembre de 2013).

⁹⁸ Vídeo sobre la instalación: <http://www.youtube.com/watch?v=weP3JKC-IRI> (Consultado el 6 de septiembre de 2013).

⁹⁹ Página web: <http://www.aaronshome.com/aaron/index.html> (Consultado el 4 de agosto de 2013).

¹⁰⁰ Página web: <http://www.kurzweilcyberart.com/> (Consultado el 4 de agosto de 2013).



(Fig. 36) "After the storm", pintura de AARON (robot)

4. CUERPO CENTRAL DEL PROYECTO

4.1 ALCANCE DEL PROYECTO

Como hemos comentado anteriormente, nuestra intención es que este proyecto sea un prototipo para una instalación futura más compleja y completa. Los ánimos en cuanto a su realización van tomando fuerza a medida que vamos desarrollándolo, pues hay muchos matices y mucho de qué hablar que quedará falto de tiempo y dedicación con sólo esta pieza.

La realización de este proyecto nos ha servido como campo de experimentación en la animatrónica, además de acercarnos al arte robótico, que traspasa los límites estáticos de la escultura tradicional. También hemos podido aplicar parte de lo aprendido en el Master en cuanto a la utilización de la placa Arduino, así como usar técnicas referentes a la investigación académica.

4.1.1 A QUIÉN VA DIRIGIDO

Aunque, en principio, no concebimos ningún espectro específico de público, pensamos que en realidad es una pieza dirigida a personas que estén más o menos familiarizadas con la presencia de la tecnología en su día a día. Así que podría ser expuesta en cualquier sociedad industrializada y tecnológicamente actualizada.

4.2 CONTEXTO

El marco histórico y social en el que está inmerso este proyecto corresponde precisamente al de la sociedad occidental actual y el que vendrá, supuestamente, si todo sigue el mismo rumbo. Hoy en día hay más avances tecnológicos de los que podemos imaginar, sólo que tiene que pasar un cierto tiempo para que salgan a la luz pública, como ocurrió, por ejemplo, con el sistema GPS¹⁰¹. Otro ejemplo es el caso de la telefonía móvil, que empezó a desarrollarse en la Segunda Guerra Mundial para fines militares. Al cabo de cincuenta años, hacia los 90, la popularidad de los móviles para particulares experimentó un boom y hoy en día lo extraño es encontrar a alguien que no disponga de uno (seguramente habiéndose cambiado de modelo de terminal varias veces). Lo mismo sucede con los ordenadores portátiles y los de sobremesa, o las televisiones y todos los aparatos electrónicos que pensemos. La sociedad actual está avanzando tecnológicamente a pasos agigantados, lo que sucede es que al estar inmersos en ella no somos plenamente conscientes de ello.

En este sentido aquellas personas que estén más al día de los avances tecnológicos (aquellos que salen a la luz pública) seguramente habrán oído hablar del proyecto 2045¹⁰²: en un artículo aparecido en abril del presente año en la versión digital del diario ABC¹⁰³, se expone el plan que quiere llevar a cabo un multimillonario ruso llamado Dimitri Itskov de cara a los próximos cuarenta años. Su proyecto, “2045”, está apoyado por personajes ilustres como Ray Kurzweil, Marvin Minsky o David Dubrovsky, entre otros, y está dividido en cuatro etapas futuras (Fig. 37):

¹⁰¹ GPS es el acrónimo de *Global Positioning System*, desarrollado en Estados Unidos en la década de los 60 para usos tácticos y militares. Tres décadas después fue facilitado al usuario civil de a pie.

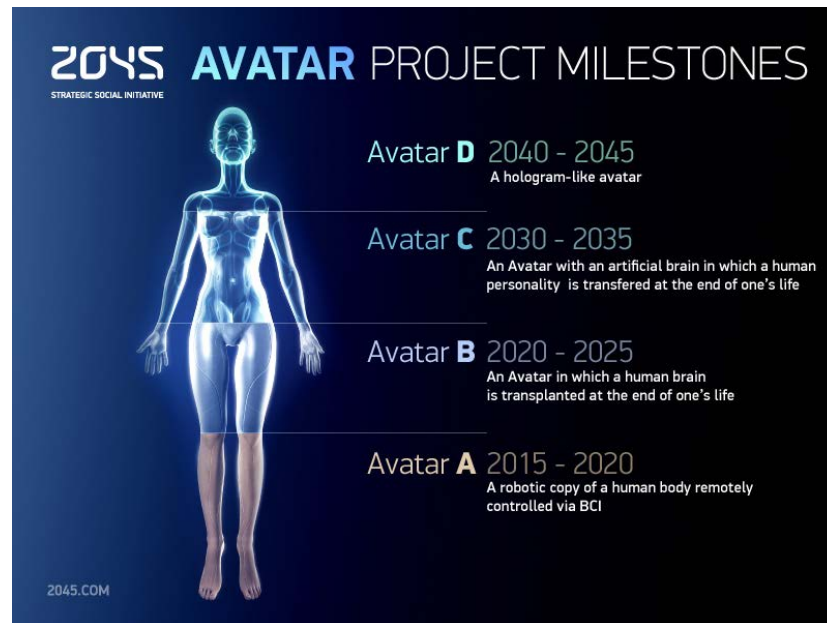
¹⁰² Página oficial: <http://2045.com/> (Consultado el 9 de agosto de 2013).

¹⁰³ <http://www.abc.es/ciencia/20130410/abci-millonario-planea-crear-cyborgs-201304100942.html> (Consultado el 8 de agosto de 2013).

- ❖ Avatar¹⁰⁴ A (plan de actuación del 2015 al 2020): se pretende desarrollar avatares robóticos controlados por interfaces cerebro-ordenador (BCI, de *Brain-Computer Interface*). La idea es que sean asequibles para el gran público y que sirvan para hacer trabajos peligrosos, rescates, etc. También se harán miembros sensibles para personas amputadas y prótesis para recuperar sentidos perdidos.
- ❖ Avatar B (plan de actuación del 2020 al 2025): posibilidad de transferir el cerebro humano intacto de una persona a un avatar robótico.
- ❖ Avatar C (plan de actuación del 2030 al 2035): creación de un modelo del cerebro humano y la conciencia, con la posibilidad de transferir la misma a un soporte artificial. Esto supondrá poder crear una Inteligencia Artificial, además de poder acceder a la “inmortalidad cibernética”¹⁰⁵ y poder modificar y ampliar las capacidades intelectuales de la humanidad.
- ❖ Avatar D (plan de actuación a partir del 2045): los cuerpos estarán compuestos por nanorrobots, de manera que podrán adoptar cualquier forma sin tener que limitarse a la humana. Los avatares estarán creados a partir de materia con características tipo holograma.

¹⁰⁴ Se entiende como avatar a una imagen o un personaje ficticio para representar a un usuario en un entorno virtual.

¹⁰⁵ Extraído de <http://2045.com/ideology/> (Consultado el 9 de agosto de 2013).



(Fig. 37) Hitos del proyecto "2045 Avatar"

Otra de las noticias sorprendentes de los últimos días es el desarrollo por parte de IBM de unos chips basados en las conexiones neuronales. El proyecto se llama SyNAPSE¹⁰⁶ y pretende emular la forma de funcionar del cerebro humano dentro de pocos años. Este nuevo sistema genera lo que llaman "Corelets", que serían como neuronas interconectadas entre sí que ya disponen de varias librerías preestablecidas, lo que les permite programar de una manera totalmente diferente a la informática convencional actual.

En resumen, el proyecto está inmerso en un contexto tecnológico que no deja de avanzar.

¹⁰⁶ Página web: <http://www.research.ibm.com/cognitive-computing/neurosynaptic-chips.shtml>
(Consultado el 10 de agosto de 2013).

4.3 REALIZACIÓN DEL ANIMATRÓNICO

A continuación expondremos el proceso realizado para la construcción de nuestro prototipo animatrónico. Este apartado se divide en dos partes: la primera trata sobre el proceso de modelado y el ensamblaje de los mecanismos móviles, mientras que la segunda recoge lo referente a la programación de Arduino, así como el montaje eléctrico. El proceso va acompañado de fotografías ilustrativas con la intención de que puedan servir como guía. Asimismo, el mecanismo propuesto puede servir tanto para crear un animatrónico humanoide como para cualquier otra criatura que se quiera, tan solo habrá que tener en cuenta las diferentes estructuras óseas y articulaciones que harán que quede verosímil.

4.3.1 PARTE ESCULTÓRICA

Lo primero que se hizo fue modelar la cara en barro sobre una tabla lisa (Fig. 38), que facilitó la realización de moldes, además ser un soporte manejable para poder trabajar adecuadamente. Como puede apreciarse en la imagen, además del modelado había cuatro pestañas trapezoidales de una altura aproximada de medio centímetro. Esto sirvió más tarde como llaves de encaje para cerrar el molde.

En esta etapa había dos cosas a tener en cuenta: la primera, se utilizaron unas semiesferas de metacrilato estandarizadas para generar los ojos¹⁰⁷, con tal de que no hubiese problemas a la hora de ajustar los movimientos oculares; y la segunda, respecto a la posición de los párpados y la boca, se hicieron entreabiertos para que la reproducción en espuma de látex pudiese abrirlos y cerrarlos sin desgarrarlos. Una vez acabado el modelado se fijó con barniz en spray para que la humedad del barro no inhibiese la resina de poliéster usada para hacer el molde rígido (Fig. 39).



(Fig. 38) Modelado en barro de la cara (Fig. 39) Molde rígido en resina de poliéster y fibra de vidrio

¹⁰⁷ En el Anexo PROVEEDORES DE MATERIAL PARA EFECTOS ESPECIALES hay direcciones donde poder comprar los materiales necesarios.

Para la obtención de una espuma de látex con un espesor adecuado y regular se hizo el “*calibrado*” (Fig. 40), que consistió en preparar una serie de planchas de barro de un centímetro de espesor para aplicarlas en las paredes del molde de resina. En la zona de los ojos y los labios, el barro tenía que llegar a fundirse hasta lo que sería el globo ocular y la apertura bucal. Esto dio el grosor correcto para los párpados (unos 2’5 ó 3 mm) y los labios.

Se dejó libre de barro la zona de las claves, de modo que el contramolde de yeso del siguiente paso (Fig. 41) se apoyase en esos cuatro puntos. Para la realización de este contramolde se aplicó escayola con varias capas de arpillera hasta conseguir un grosor de unos 2’5 ó 3 cm.



(Fig. 40) *Calibrado del grosor con barro* (Fig. 41) *Contramolde de escayola con arpillera*

Una vez que el contramolde se hubo endurecido, se desmoldó, se limpió y se dejó secar. Se le aplicó vaselina por toda la superficie y se le recubrió con silicona tixotropada para realizar un molde flexible de esta parte (Fig. 42). Como caja madre (o carcasa exterior) para esta silicona se aplicaron vendas de escayola haciendo dos mitades (Fig. 43).



(Fig. 42) Aplicación de silicona tixotropada (Fig. 43) Caja madre en venda de escayola

Se preparará este nuevo molde (Fig. 44) para la obtención de una réplica de capa fina de resina de poliéster translúcida y fibra de vidrio (Fig. 45), a la que se le recortaron los sobrantes y se le pulieron los cantos. Ésta sirvió como base en la que finalmente se montaría el mecanismo motorizado y la espuma.

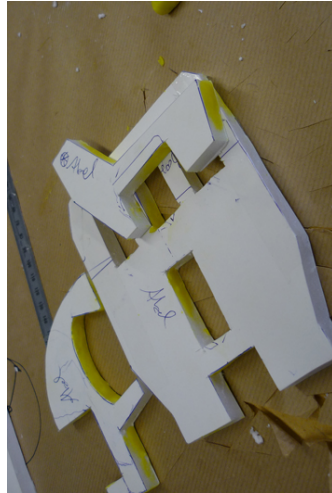


(Fig. 44) Molde de silicona

(Fig. 45) Réplica de resina de poliéster y fibra de vidrio

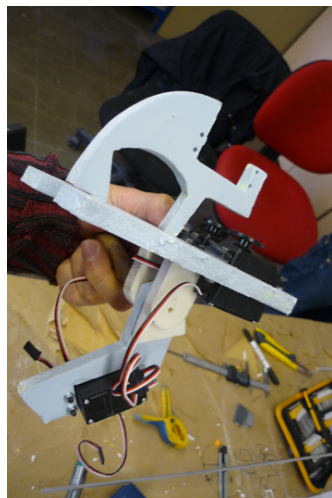
Normalmente en la industria cinematográfica para el siguiente paso se usan piezas realizadas en aluminio, generadas a partir de programas informáticos tipo CAD y obtenidas por máquinas de corte por control numérico, sin embargo, una alternativa doméstica más económica que usamos fue realizar los prototipos en cartón-pluma grueso (Fig. 46) para luego elaborar un molde de silicona (Fig. 47) y obtener réplicas en poliuretano (PU). El armazón

debía encajar dentro de la máscara de resina de poliéster, así que se iban tomando medidas y usando plantillas orientativas recortadas en cartón.



(Fig. 46) Piezas en cartón-pluma (Fig. 47) Molde de silicona y colada de PU

A la pieza base del mecanismo animatrónico se le atornillaron el resto de piezas (Fig. 48), montando la estructura fijándola con tornillos y cola de resina epoxídica (bicomponente tipo Araldit). Se colocó una varilla con rótula de forma que la articulación fuese a parar al servo de la mandíbula (Fig. 49).



(Fig. 48) Montaje de las piezas en PU (Fig. 49) Colocación de la varilla con rótula para la mandíbula

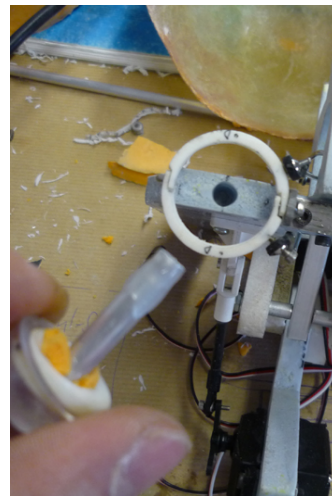
En la placa central se realizaron tres agujeros para alojar los siguientes servos: el de los párpados, el que movería los ojos lateralmente y el que lo haría verticalmente (aunque en nuestro caso sólo se dejó planteado). El orificio que quedaba aislado en medio de la placa serviría para pasar una guía, acabada

en un par de rótulas, que movería a la vez los párpados superiores e inferiores. Este agujero y el de en medio de los tres servos debían estar desalineados porque si no entorpecería el mecanismo.

Respecto a los párpados, se usaron unos aros con un ancho entre diámetros interior y exterior de 3 mm y un espesor de 4. En el interior iría el globo ocular (Fig. 50), de modo que tenía que holgar un milímetro, más o menos, entre ambos. Se cortaron por la mitad haciendo una forma de “L” (Fig. 50), y se perforaron juntamente para hacerlos girar sobre un mismo eje, anclándolos en la placa base a través de una platina que hacía de soporte. Se les atornillaron sendas rótulas arriba y abajo a unos tres milímetros del lado interior del eje, conectados con una varilla en forma de “U”. La estructura ocular se componía de la semiesfera de metacrilato, el aro de poliuretano anteriormente citado y un eje cilíndrico de aluminio perforado que permitía el giro del conjunto (Fig. 52). En la parte de atrás del aro se coloca una pieza que sirve como punto de enganche para las varillas que van al servo.

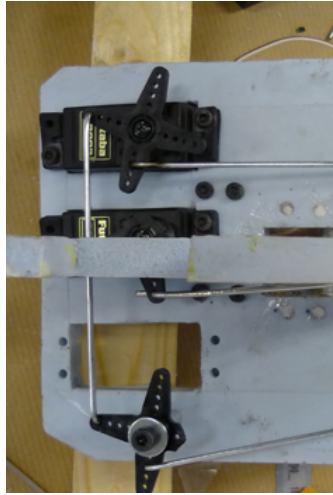


(Fig. 50) Aro cortado y semiesfera ocular



(Fig. 51) Estructura ocular

Para usar un mismo servo para los dos ojos se montó un aspa que repetiría el movimiento y lo llevaría de uno a otro. Para ello se utilizó una de las crucetas venían en los packs de los servos (Fig. 52). Para las cejas se hizo una estructura metálica (Fig. 53) que transmitiría la rotación del servo (situado en la placa vertical de PU).



(Fig. 52) Servo y cruceta de repetición



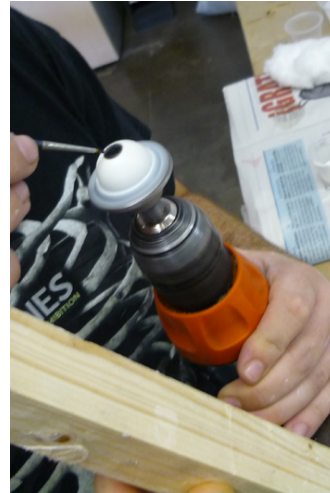
(Fig. 53) Palanca para las cejas

Las cejas se recortaron en la carcasa de fibra de vidrio para que permitiesen un movimiento adecuado (Fig. 54). En cuanto a los dientes y encías, se hicieron reproducciones en dentina de unos reales con un molde bucal de alginato. Posteriormente, la carcasa de fibra se cortó siguiendo lo que sería la estructura ósea, dejando espacio suficiente para los dientes, montándolos en la mandíbula abatible.

Para la preparación de los ojos se lijaron las semiesferas anteriormente usadas con tal de que no repeliese la pintura y se montaron sobre una superficie que permitía ser cogida por un destornillador eléctrico. Se le aplicó pintura acrílica de color blanquecino con un aerógrafo y se la dejó secar. Luego se pintó el ancho del iris con color negro con la ayuda de un pincel, haciendo girar la estructura montada (Fig. 55).



(Fig. 54) Estructura facial montada



(Fig. 55) Pintado del ojo

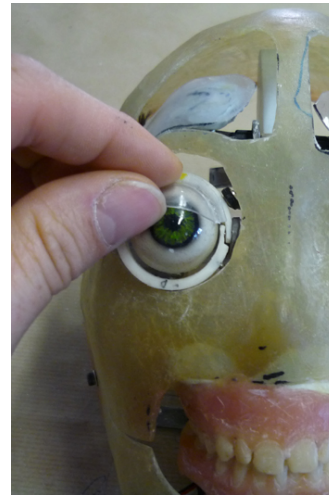
Una vez obtenido el ancho deseado se pintaron líneas muy finas y de diferentes tonos de un mismo rango de color simulando el iris. Se volvió a colocar en el soporte giratorio y con el aerógrafo cargado de pintura negra muy diluida se creó el limbo, que es la zona en la que termina el iris y empieza la esclerótica (o blanco del ojo). Para finalizar el pintado se moteó con rojo muy diluido para simular capilares (Fig. 56). Una vez satisfechos con el resultado, se fijó con barniz brillante en spray, dándole dos capas.

El siguiente paso fue la realización de la parte rígida de los párpados, que se obtuvieron a través de una lámina de acetato termoformado. Para ello se creó una reproducción en escayola de una semiesfera un milímetro más ancha que el globo ocular usado y se aplicó dicha lámina de acetato en caliente, de forma que se adaptase a la superficie de la escayola. Se cortó en dos mitades iguales y se pegaron a los aros preparados (Fig. 57). Hay que tener en cuenta que la superficie lisa del acetato suele repeler los pegamentos, así que se tiene que lijar para abrir el poro.

Con este último paso la estructura facial animatrónica ya está lista y sólo queda enganchar debidamente la máscara.



(Fig. 56) Pintado de los ojos



(Fig. 57) Colocación de los soportes rígidos de los párpados

Para conseguir una espuma de látex de buena calidad hay que seguir una serie de pasos muy estrictos, que normalmente vienen especificados en las instrucciones del lote. Las marcas líderes en el mercado son *Monster Makers*¹⁰⁸ y *GM Foam Inc.*¹⁰⁹, aunque existen muchísimas más. En nuestro caso el material utilizado era de la marca *Monster Makers*, de *Mouldlife*.

Se preparó el molde aplicándole con una brocha una capa de ácido esteárico (o jabón en polvo), que serviría como desmoldante, y se vertió la mezcla preparada dentro (Fig. 58). Se cerró con el contramolde de escayola y para que todo quedase bien sujeto, se apretó con unos sargentos. Acto seguido se colocó dentro del horno, que ya estaba precalentado a unos setenta grados centígrados. Se subió entonces la temperatura a noventa y se mantuvo así durante dos horas y media. Para tener una referencia del estado de la espuma dentro del molde, se colocó un poco de material sobrante en la parte exterior del mismo. Pasadas las dos horas y media se comprobó esta espuma apretándola con el dedo (debía retornar a su posición inicial sin ningún tipo de problema y en caso contrario, se tenía que dejar más tiempo dentro del horno). Una vez que el resultado era satisfactorio se apagó el horno y se dejó enfriar el molde dentro con la puerta ligeramente abierta. Un cambio brusco de

¹⁰⁸ Página web: <http://www.monstermakers.com/> (Consultado el 20 de agosto de 2013).

¹⁰⁹ Página web: <http://www.gmfoam.com/> (Consultado el 20 de agosto de 2013).

temperatura podría suponer la ruptura de la escayola. Si por alguna razón no se hubiese podido dejar dentro del horno, se tendría que haber envuelto en mantas y dejarla enfriar progresivamente.

Tras el correspondiente enfriamiento, se abrió el molde y se fue despegando la espuma con la ayuda de una brocha y polvos de talco, dejándola colocada después en el contramolde de escayola para que no se deformase. Después, con la ayuda de un pirograbador en caliente se fueron fundiendo los excesos de espuma (Fig. 59).



(Fig. 58) Aplicación de la espuma de látex



(Fig. 59) Reparación de la máscara

Para reparar los vacíos generados por burbujas de aire, se preparó un poco de mezcla de sílice coloidal y cola quirúrgica, obteniendo una masilla flexible. Con ella y con recortes de espuma sobrante se rellenaron los huecos, intentando dejar la superficie lo más lisa posible. Una vez lista la máscara se procedió al prepintado, que consistió en tapar los poros de la espuma de látex con una disolución de cola en agua con la ayuda de una esponja. Después se preparó la pintura base de color carne a partir de la misma disolución mezclada con pintura acrílica y se pintó la máscara (Fig. 60). Luego se “matizó” la superficie con polvos base para maquillaje, ya que la cola quirúrgica queda siempre pegajosa.

Lo siguiente fue pegar la máscara al esqueleto animatrónico con cola de contacto (Fig. 61). Las zonas a fijar fueron: las sienes, las cejas por la parte inferior, el tabique nasal, los pómulos, el mentón, las mandíbulas y los párpados. Para estos últimos sólo se pegó la franja más próxima a las pestañas,

ya que el resto debía de quedar suelto para que se formasen pliegues al abrir los ojos. Las mejillas y la zona alta de la frente que se dejaron sin encolar.



(Fig. 60) Espuma pintada



(Fig. 61) Pegado de la máscara

Por último, se modeló el resto del busto, compuesto por la parte de atrás de la cabeza, el cuello, los hombros y el pecho, y se pasó a resina (Fig. 62). Finalmente, se pintó de los colores deseados y se montó la cara animatrónica en el busto acabado (Fig. 63).



(Fig. 62) Busto en resina de poliéster



(Fig. 63) Busto animatrónico finalizado

4.3.2 PARTE ELECTRÓNICA

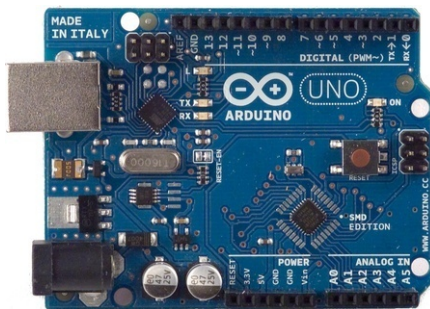
El siguiente componente a tener en cuenta a la hora de realizar un animatrónico es la placa que controla los servos y otros posibles componentes

electrónicos. En nuestro caso utilizamos una placa Arduino¹¹⁰ UNO (Fig. 64), que tiene un microcontrolador capaz de ser programado con facilidad y la utilizaremos para obtener la lectura en código binario de los mensajes.

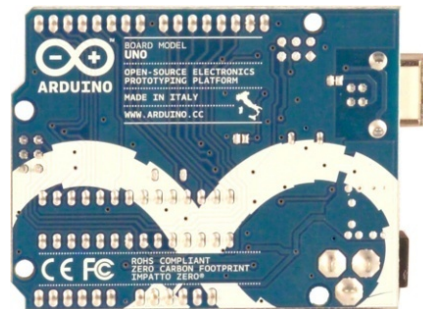
Se podría decir que existe toda una comunidad y una cultura relacionadas con el mundo de Arduino, debido a su asequibilidad (hay placas por menos de 40€ en el mercado) y la gran cantidad de tutoriales disponibles.

En cuanto a los componentes de Arduino UNO tenemos:

- ✓ un microcontrolador ATmega328;
- ✓ catorce pines digitales *input/output*, de los cuales seis pueden ser usados como *outputs* PWM (*Pulse Width Modulation*)¹¹¹;
- ✓ seis *inputs* analógicos;
- ✓ una conexión USB;
- ✓ una entrada jack para conectarla a la corriente (recomendada de 6 a 12 V);
- ✓ un botón de reseteo;
- ✓ un pin de alimentación de 5V y otro de 3,3V.



(Fig. 64) Arduino Uno (vista anterior)



(Fig. 65) Arduino Uno (vista posterior)

¹¹⁰ Página oficial: <http://arduino.cc/> (Consultado el 22 de julio de 2013).

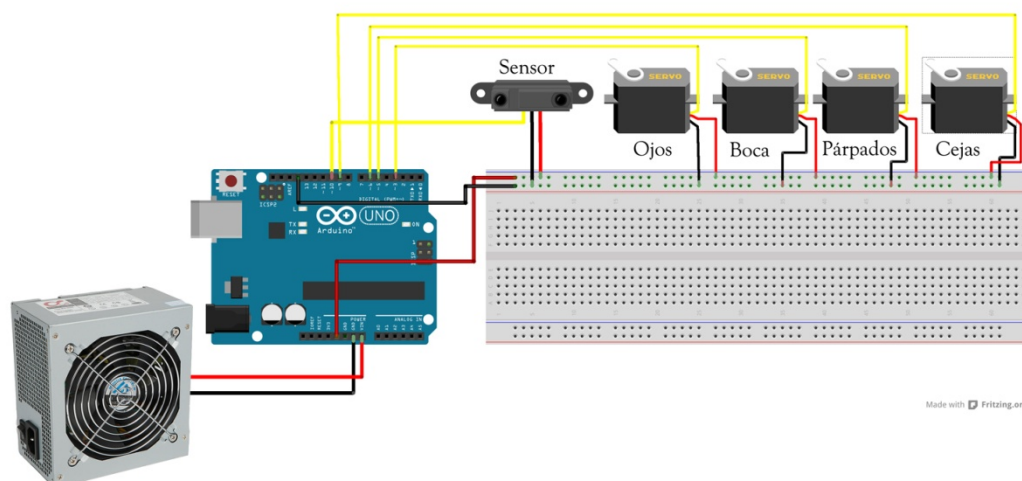
¹¹¹ Los PWM son pines que permiten emular una salida analógica a través de una digital. Para ello se crea una señal de onda cuadrada que varía de 0 (apagado) a 5 voltios (encendido), modificando los tiempos que está encendido, que son los anchos de banda de la onda. Si son tiempos cortos parecerá que sale poco voltaje, y al contrario si son tiempos largos.

Para alimentar a la placa puede hacerse por dos vías: usando la conexión USB o recurriendo a una fuente externa de alimentación. En el segundo caso, se requiere de un transformador de corriente alterna a continua con una clavija de 2'1mm y centro-positiva que se conectará al jack de alimentación, y debe tener un voltaje de 6V a 12V. Existe también la posibilidad de suplir la corriente a través del pin marcado como "Vin" y cerrar en circuito con otro "GND" (tierra), usando una fuente de alimentación de ordenador, como es en nuestro caso, por ejemplo.

4.3.2.1 Conexión de los componentes electrónicos

Para nuestro animatrónico utilizamos pines PWM, ya que pueden dar una lectura de 1024 valores (de 0 a 1023), cosa que nos permitirá encontrar valores adecuados para la correcta gesticulación de la cara. El número asignado a los pines son los siguientes: nº 3 para los ojos, nº 5 para la boca, nº 6 para los párpados, nº 9 para las cejas y nº 11 para el sensor de proximidad.

El voltaje suministrado por la fuente de alimentación externa lo conectaremos al pin "Vin" y también uniremos su toma de tierra a una de Arduino, marcada como GND (Fig. 66).



(Fig. 66) Montaje del circuito (realizado con "Fritzing"¹¹²)

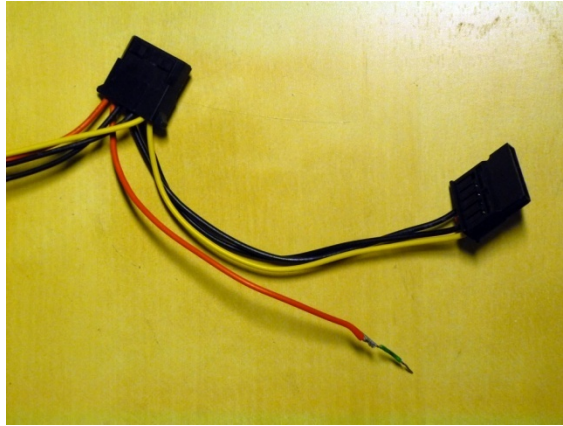
Como comentamos en el apartado **4.3 Funcionamiento del animatrónico**, hay que tener en cuenta que cada servo en movimiento consume bastante energía, de modo que se tiene que recurrir a una fuente de alimentación externa cuando la placa Arduino no pueda suministrarla. Para nuestro androide hemos utilizado una fuente clásica de alimentación de ordenador de 500W de potencia (Fig. 67), que da 25A en la salida de 5V. Para poder acceder a la corriente en este tipo de fuentes de alimentación se tiene que eludir un sistema de seguridad: basta con puentear el cable verde de la manguera ancha con cualquiera de los negros, que son los de tierra (Fig. 68).



(Fig. 67) Fuente de alimentación de ordenador (Fig. 68) Puenteadado de la manguera

En una fuente de alimentación como la usada, los cables rojos son los que suministran 5V, mientras que los amarillos dan 12V (Fig. 69). El montaje de los servos es en serie y el cable de 5V de la fuente es el que alimenta esta línea, que se cierra con las tomas de tierra, también en serie, pero finalizadas en un pin *GND* de la placa Arduino.

¹¹² Fritzing es un programa *open source* que permite documentar, compartir, diseñar y enseñar prototipos de placas de circuitos impresos. Dispone de componentes compatibles con Arduino, Raspberry y otros. Página oficial: <http://fritzing.org/> (Consultado el 22 de julio de 2013).



(Fig. 69) Cable que suministra 5V

4.3.2.2 Programación de la placa Arduino

Un programa desarrollado en Arduino consta de las siguientes partes:

```

Importar librerías;
    Creación de clases
    Declarar variables;
    Void setup (){
    Parámetros iniciales -se ejecutan una sola vez-
    }
    Void loop () {
    Bucle que se repite hasta cerrar el programa
    }

```

Para empezar, nuestro programa¹¹³ necesita importar la librería para los servos, que puede hacerse a través del menú “Sketch/Importar Librería/Servo”. Luego creamos la clase “*Ultrasonic*” para el sensor de proximidad y declaramos todas las variables, definiendo los nombres de los servos como “ojos”, “párpados” (sin acento para evitar problemas), “boca” y “cejas”. También creamos un array con todos los dígitos del mensaje “*Hello World!*” separados entre sí por una coma. En *Void setup* asignamos el número de pin a cada componente, siendo:

```

Ojos: 3;           Párpados: 5;
Boca: 6;           Cejas: 9;
Sensor: 11;

```

A continuación creamos el bucle en *Void loop*. La primera parte activa el sensor de proximidad, que va tomando lecturas cada 0’5 segundos. Cuando se encuentra con un objeto delante suyo a una distancia inferior a 60 cm da paso a la siguiente rutina, que está dividida en dos partes: primero se realiza la secuencia “*Hello World!*” en binario con todos los servos simultáneamente; luego cada motor “lee” una letra por separado. Después se cierra el bucle y vuelve a la lectura del sensor.

¹¹³ En el Anexo A2.2 **Montaje definitivo** se encuentra el código utilizado completo.

4.4 PRUEBAS PREVIAS AL MONTAJE DEFINITIVO

Como ya habíamos comentado anteriormente en la introducción de este trabajo, nuestro animatrónico nos brinda, la posibilidad de lanzar mensajes en código binario a través de cuatro servos que mueven diferentes partes de su cara. Concretamente, los motores son capaces de abrir y cerrar la boca y los párpados, levantar las cejas y girar lateralmente los ojos. Sin embargo, antes de estar seguros de que los cuatro motores podrían lanzar mensajes simultáneos de una forma válida para nuestra instalación, hemos tenido que realizar una serie de pruebas físicas a cada uno de ellos para comprobar que los movimientos faciales funcionaban correctamente, obteniendo algún resultado inesperado. Más adelante exponemos las pruebas en cuanto a la programación de Arduino, además de incluir las realizadas con un sensor de proximidad de infrarrojos ubicado en el cuello del animatrónico.

4.4.1 PRUEBAS CON EL SENSOR DE PROXIMIDAD

Para activar la secuencia del animatrónico a través de la presencia del espectador introdujimos un sensor de proximidad por ultrasonidos tipo SEN136B5B (Fig. 79), ubicándolo en el cuello, que era la zona donde pasaba más desapercibido.



(Fig. 79) Sensor de proximidad por ultrasonidos

Nuestra intención es que el animatrónico se encienda cuando el espectador esté a una distancia inferior a 60 cm, realizando después la secuencia de codificación del mensaje binario.

Según las especificaciones técnicas¹¹⁴, este tipo de sensores pueden detectar objetos a una distancia comprendida entre 3 cm y 4 m, aunque conectándolo y haciendo prueba con él hemos obtenidos valores de entre 1 cm y 6'6 m. En el anexo “**A2.1 Sensor de proximidad**” está incluido el programa de testeo usado para el sensor, extraído de la web indicada a pie de esta misma página. Éste es el que nos sirvió como base para combinarlo con el de control de los servos.

¹¹⁴ Especificaciones técnicas y otra información disponible en:
http://www.seeedstudio.com/wiki/index.php?title=Ultra_Sonic_range_measurement_module
(Consultado el 10 de septiembre de 2013).

4.4.2 PRUEBAS CON LOS SERVOS

Los motores servos utilizados en este proyecto son de la marca Futaba, modelo s3003, que dan un ángulo de giro de 180°. Esto supone que hemos de calibrar el rango con el que tiene que trabajar cada uno de ellos para no forzar las salidas. Así, antes de desarrollar el programa definitivo en el que lee la secuencia binaria, estuvimos haciendo pruebas con los servos para encontrar los valores adecuados, obteniendo las siguientes graduaciones:

▪ Párpados:	- abiertos: 55 - cerrados: 80
▪ Boca:	- abierta: 155 - cerrada: 180
▪ Ojos:	- izquierda: 115 - derecha: 84
▪ Cejas:	- posición neutra: 70 - levantadas: 40

Cabe decir, que estos valores son válidos únicamente para este animatrónico en concreto. Aunque hiciésemos una réplica exacta, deberíamos volver a ajustar los valores.

4.4.3 PRUEBAS CON LAS DIFERENTES PARTES MÓVILES

4.4.3.1 Párpados

Los párpados han sido los que mejor resultado nos han dado en cuanto a movimiento, ya que hemos logrado cerrarlos y abrirlos de una forma muy natural y verosímil (Figs. 70 y 71). Sin embargo, debido a la fina piel de espuma de látex de la que están formados, el párpado izquierdo ha comenzado a desgarrarse tanto por arriba como por abajo, dejando zonas al descubierto del mecanismo del ojo. Para solucionar esto habría que realizar una nueva máscara de espuma engrosando ambos párpados con un ancho de no menos de 3 milímetros.



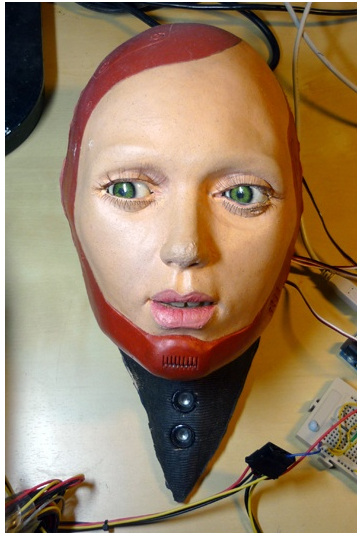
(Fig. 70) Párpados abiertos



(Fig. 71) Párpados cerrados (rotura visible)

4.4.3.2 Ojos

El movimiento lateral de los ojos también ha resultado bastante satisfactorio a nivel técnico y visual, ya que ni bizquea ni hace ningún desfase extraño en ninguno de los dos lados (Fig. 72 y 73). Cuando se use este servo como emisor de mensajes hemos de tener en cuenta que los párpados deben permanecer abiertos, ya que de otra manera nos encontraríamos con un problema evidente: no podríamos saber a qué lado estarían mirando.



(Fig. 72) Mirada lateral derecha



(Fig. 73) Mirada lateral derecha

4.4.3.3 Cejas

Pese a nuestro esfuerzo por construir una cara animatrónica humanoide realista, hemos de admitir que los resultados tendrían que refinarse más, pues el movimiento de las cejas, aunque es notable a la vista, no reacciona con una naturalidad creíble. Ello se debe a la dificultad para imitar la piel humana con la espuma de látex. En la industria cinematográfica también se usa silicona encapsulada, que tiene propiedades mucho más cercanas a la piel. Cuando los humanos levantamos ambas cejas a la vez, la piel de la frente se nos arruga horizontalmente, manteniendo fijo el punto más alto de la frente. Sin embargo, con la máscara de espuma no hemos sido capaces de emularlo bien, ya que en lugar de formárenos dichas arrugas se nos crea un bulto extraño (Figs. 74 y 75). En el próximo animatrónico haremos pruebas con la silicona mencionada.



(Fig. 74) Cejas en reposo



(Fig. 75) Cejas levantadas con bulto extraño en la frente

4.4.3.4 Boca

La boca a nivel anatómico ha resultado muy convincente pero el servo que hemos utilizado no tiene suficiente fuerza para estirar la máscara de látex. Si la forzamos manualmente (Fig. 76), vemos que se comporta como es deseado, dejando una abertura suficiente sin ser exagerada y sin desgarrar las comisuras. En cambio, si utilizamos únicamente la potencia del servo, que da 3'2Kg/cm (Fig. 77), observamos claramente que es insuficiente. Esto lo resolveríamos sustituyéndolo por uno con más fuerza, aunque lo dejamos para trabajo futuro.



(Fig. 76) Boca forzada
manualmente

(Fig. 77) Boca abierta
por el servo

(Fig. 78) Boca cerrada

4.5 FUNCIONAMIENTO DEL ANIMATRÓNICO

Como hemos comentado anteriormente, nuestro animatrónico dispone de cuatro motores y un sensor de proximidad. Esto supone un consumo de energía bastante importante, cosa que la placa Arduino no puede suplir si únicamente está conectada por USB. Para solventar esto hemos de recurrir a una fuente de alimentación externa. Sin embargo, no nos centraremos ahora en explicar el proceso, ya que en el apartado **4.4.2.1 Conexión de los componentes electrónicos** lo hacemos con detalle.

En cuanto a la puesta en marcha del androide, recurrimos al sensor ubicado en el cuello, que es el encargado de iniciar la secuencia de los servos que moverán la cara. El rango mínimo para que se active es de 60 cm, ya que consideramos que es una distancia suficientemente pequeña como para que se dé cuenta el espectador de que el animatrónico ha reaccionado a su presencia.

Una vez que se activa, se inicia una rutina del programa de Arduino en el que los unos y ceros correspondientes al mensaje “*Hello World!*” en binario (página 38 de este proyecto) se convierten en movimientos de los cuatro servos. En esta primera parte de la rutina los cuatro motores actúan a la vez y sincronizados. Acto seguido se inicia la segunda parte, en la que cada letra es “traducida” por separado, actuando un solo servo por cada una. En total son doce caracteres, así que cada uno de los motores actúa tres veces. Una vez finalizada la rutina, el sensor vuelve a tomar medidas, encendiendo el proceso de nuevo cuando nota un objeto por debajo de la distancia antes mencionada. Adjuntamos un enlace con un vídeo del funcionamiento del animatrónico¹¹⁵.

¹¹⁵ Vídeo alojado en Youtube: <http://www.youtube.com/watch?v=T3OHxBiWOv0&feature=youtu.be>

4.6 TEST DE USUARIO

Con la intención de obtener un feedback que nos permitiese evolucionar la pieza en el futuro realizamos un test de usuario a un grupo de 19 personas de diferentes edades, sexos y profesiones. Para ello se colocó la pieza en un pedestal y, sin explicar nada previamente, se le mostró individualmente a cada uno de los participantes, dejándola en funcionamiento durante un tiempo. Después se les pasó el siguiente test con preguntas en cuanto a la sensación que les generaba el busto animatrónico en movimiento y otras cuestiones.

El objetivo de este test era saber si los objetivos que nos marcamos al principio de este trabajo se habían conseguido y, entre otras cosas más, qué grado de aceptación tendría un androide humanoide en la vida cotidiana de esas personas.

TEST DE USUARIO

Profesión:

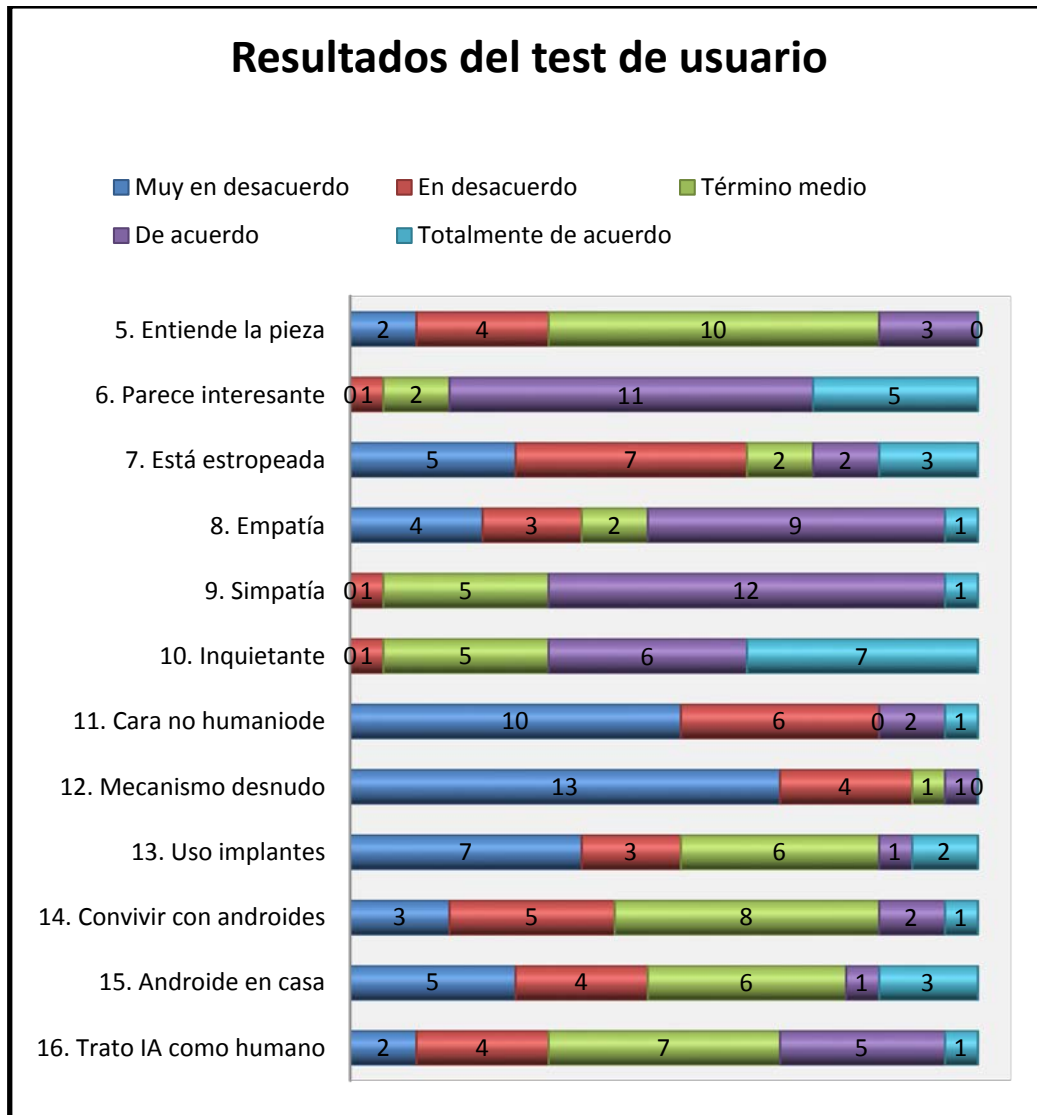
Sexo: Hombre/Mujer

Edad:

1. ¿Tiene conocimientos de programación informática?	Sí	No			
2. ¿Sabe lo que es la IA (Inteligencia Artificial)?	Sí	No			
3. En la pieza que tiene delante, ¿cree que hay algún mensaje encriptado?	Sí	No			
4. En caso afirmativo, ¿se vería capaz de descifrarlo?	Sí	No			
	Muy en desacuerdo	En desacuerdo	Término medio	De acuerdo	Totalmente de acuerdo
5. ¿Cree entender lo que está sucediendo con la pieza que tiene delante?	1	2	3	4	5
6. ¿Le parece interesante?	1	2	3	4	5
7. ¿Diría que está estropeada?	1	2	3	4	5
8. ¿Siente algún tipo de empatía con el androide?	1	2	3	4	5
9. ¿Le provoca simpatía la pieza?	1	2	3	4	5
10. ¿Le parece inquietante?	1	2	3	4	5
11. ¿Hubiese preferido que el busto tuviese una cara no humanoide?	1	2	3	4	5
12. ¿Hubiésemos conseguido el mismo efecto en usted mostrando únicamente los motores y el mecanismo desnudos?	1	2	3	4	5
13. ¿Mejoraría su propio cuerpo con implantes tecnológicos?	1	2	3	4	5
14. ¿Estaría preparado/a para convivir con androides semejantes a los relatos de ciencia-ficción?	1	2	3	4	5
15. ¿Le gustaría tener en casa un androide como los de la pregunta anterior?	1	2	3	4	5
16. En caso de conocer una Inteligencia Artificial que fuese igual o superior a la humana, ¿cree que la trataría como a un ser humano?	1	2	3	4	5

4.7 RESULTADOS

1. ¿Tiene conocimientos de programación informática?	Sí (3)	No (16)			
2. ¿Sabe lo que es la IA (Inteligencia Artificial)?	Sí (15)	No (4)			
3. En la pieza que tiene delante, ¿cree que hay algún mensaje encriptado?	Sí (8)	No (11)			
4. En caso afirmativo, ¿se vería capaz de descifrarlo?	Sí (0)	No (19)			
	Muy en desacuerdo	En desacuerdo	Término medio	De acuerdo	Totalmente de acuerdo
5. ¿Cree entender lo que está sucediendo con la pieza que tiene delante?	1 (2)	2 (4)	3 (10)	4 (3)	5 (0)
6. ¿Le parece interesante?	1 (0)	2 (1)	3 (2)	4 (11)	5 (5)
7. ¿Diría que está estropeada?	1 (5)	2 (7)	3 (2)	4 (2)	5 (3)
8. ¿Siente algún tipo de empatía con el androide?	1 (4)	2 (3)	3 (2)	4 (9)	5 (1)
9. ¿Le provoca simpatía la pieza?	1 (0)	2 (1)	3 (5)	4 (12)	5 (1)
10. ¿Le parece inquietante?	1 (0)	2 (1)	3 (5)	4 (6)	5 (7)
11. ¿Hubiese preferido que el busto tuviese una cara no humanoide?	1 (10)	2 (6)	3 (0)	4 (2)	5 (1)
12. ¿Hubiésemos conseguido el mismo efecto en usted mostrando únicamente los motores y el mecanismo desnudos?	1 (13)	2 (4)	3 (1)	4 (1)	5 (0)
13. ¿Mejoraría su propio cuerpo con implantes tecnológicos?	1 (7)	2 (3)	3 (6)	4 (1)	5 (2)
14. ¿Estaría preparado/a para convivir con androides semejantes a los relatos de ciencia-ficción?	1 (3)	2 (5)	3 (8)	4 (2)	5 (1)
15. ¿Le gustaría tener en casa un androide como los de la pregunta anterior?	1 (5)	2 (4)	3 (6)	4 (1)	5 (3)
16. En caso de conocer una Inteligencia Artificial que fuese igual o superior a la humana, ¿cree que la trataría como a un ser humano?	1 (2)	2 (4)	3 (7)	4 (5)	5 (1)



(Fig. 79) Resultados del test de usuario

5. CONCLUSIONES

Aunque la muestra de población a la que se le pasó el test de usuario fue considerablemente pequeña (19 personas de diferentes profesiones, edades y sexos), si nos atenemos a los resultados podemos extraer varias conclusiones. Para comenzar, observamos que hay poca gente con conocimientos de programación informática, aunque muchos están al corriente de los avances tecnológicos y han oído hablar de la IA. Además, se ha observado cierto rechazo hacia los aspectos más futurísticos, como la idea de convivir con Inteligencias Artificiales avanzadas o el uso de implantes corporales para la mejora del propio cuerpo humano (aunque una gran parte de los encuestados no tiene una opinión rotunda). Como hemos visto, una de las predicciones de Raymond Kurzweil es que la IA equiparará a la inteligencia humana en tan solo dieciséis años, pero después de observar los resultados del test de usuario parece poco probable que la población esté preparada para este cambio.

En cuanto al aspecto humanoide e hiperrealista de los androides observamos que, en general, suscita tanto un sentimiento de empatía como de cierta inquietud, cosa que nos hace pensar sobre lo anunciado por Masahiro Mori respecto al *Uncanny Valley*. A partir de las investigaciones realizadas, hemos aprendido que si una de las intenciones de la obra es generar precisamente un sentimiento de repulsa o de inquietud, deberíamos usar el hiperrealismo. En cambio, si lo que pretendemos es relajar esa turbación iremos en otra dirección, haciendo animatrónicos con caras no hiperrealistas, ya que una apariencia como la de Asimo, el conocido androide de Honda, resultaría menos desconcertante a la hora de interactuar con él.

Respecto a nuestra pieza en concreto, sin una explicación previa el espectador se encuentra perdido ante lo que le sucede al busto animatrónico, no encontrándole sentido a la secuencia de movimientos. Menos de la mitad piensan que hay un mensaje encriptado y en caso de haberlo nadie se vería capaz de descifrarlo. Así, la comunicación del mensaje parece que queda perdida como en el caso del Mensaje de Arecibo. Todo esto confirma nuestra

hipótesis inicial de que sin la ayuda de un traductor maquinal es imposible (o casi) comunicarse en un código puramente binario. Extrapolando esta experiencia deducimos que la comunicación debe realizarse con medios que permitan un correcto envío y recepción de la información, para luego poder ser bien procesada y, en su caso, contestada.

En cuanto al uso del sensor de proximidad como elemento reactivo, pudimos observar que los usuarios se sorprendían al iniciarse la secuencia debido a su presencia, además, intentaban interactuar de algún modo más a través de él. Esto nos constata que los elementos interactivos producen una gran atracción en el público, cosa que tomaremos en cuenta para futuras piezas e instalaciones.

Otro aspecto técnico que deberíamos tener en cuenta para más adelante si continuamos con el hiperrealismo animatrónico es la desventaja en el uso de espuma de látex como material final. Hemos observado que al cabo de poco tiempo empieza a deteriorarse, apareciendo roturas en las partes más finas de la máscara, como los párpados o las comisuras labiales. Además, este material no permite el “pinchado”¹¹⁶ de pelo, cosa que no ocurre con las máscaras hechas en silicona, como en el caso de *Geminoid* de Iroshi Ishiguro (Fig. 6), o en la obra *Hippy dialectics*, del artista Nathaniel Mellors (Fig. 33). Así, queda como investigación futura el uso y aplicación de este otro material.

Concluyendo, la realización de este proyecto nos ha supuesto un acercamiento al mundo del arte robótico, en el que deseamos seguir experimentando y avanzando. La utilización de animatrónicos como una nueva forma de expresión artística nos abre un abanico de posibilidades, permitiendo realizar obras e instalaciones que antes se nos antojaban imposibles. Por otro lado, la experiencia respecto a la investigación académica ha resultado ser de lo más gratificante, ya que hemos podido trabajar con un tema enormemente cautivador y apasionante. A título personal, la idea de embarcarme en un doctorado siguiendo esta línea de investigación parece tomar fuerza.

¹¹⁶ Técnica usada en la industria cinematográfica para la inserción de pelo, usando una aguja con muescas que permiten introducirlo dentro del material (espuma de látex o silicona).

Hello World!

Una paradoja comunicativa entre humanos y máquinas Abel Pruñonosa Asensio



UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA



6. BIBLIOGRAFÍA

6.1 LIBROS

A.P.A. 20130. *Diagnostic and Statistical Manual of Mental Disorders. Fifth Edition. DSM-5.*

AA. VV. 1997. *Fundamentos de robótica.* Madrid: McGRAW-HILL.

ASIMOV, I. 1999. *El hombre Bicentenario y otros cuentos.* Barcelona: Ediciones B.

_____. 2004. *Yo, robot.* Barcelona: Edhasa.

BAL, M. 2009. *Conceptos viajeros en las humanidades.* Murcia: Cendeac.

BASSA, J.; FREIXAS, R. 1997. *El cine de ciencia ficción.* Barcelona: Paidós.

BAUDRILLARD, J. 1998. *Cultura y Simulacro.* Barcelona: Kairós.

_____. 2006. *El compot del arte: illusion y desilusión estéticos.* Madrid: Amorrortu.

BENJAMIN, W. 1973. *Discursos Interrumpidos.* Madrid: Taurus.

BORDEN, G.; STONE, J. 1982. *La comunicación humana.* Buenos Aires, El Ateneo.

BREA, J. L. 2007. *Cultura_RAM. Mutaciones de la cultura en la era de su distribución electrónica.* Barcelona: Gedisa.

BREAZEL, C. 2002. *Designing Sociable Robots.* Cambridge, MA: MIT Press.

BRONCANO, F.; DE LA FUENTE, D. 2010. *De Galatea a Barbie. Automatas, robots y otras figuras de la construcción femenina.* Madrid: Lengua de Trapo.

BROOKS, R. 2003. *Cuerpos y máquinas. De los robots humanos a los hombres robots.* Barcelona: Ediciones B.

CAPEK, K. 2004. *RUR. Robots Universales Rossum: obra en tres actos y un epílogo.* Barcelona: Círculo de Lectores.

CARD, S., MORAN, T., NEWELL, A. 1983. *The Psychology of Human-Computer Interaction*. Hillsdale, NJ, USA: L. Erlbaum Associates Inc.

CASTELFRANCHI, Y.; STOCK, O. 2002. *Máquinas como nosotros: el desafío de la inteligencia artificial*. Madrid: Acento Ediciones.

CAUDILL, M. 1992. *In Our Own Image: Building an Artificial Person*. Nueva York: Oxford University Press.

CLARK, A. 2003. *Natural Born Cyborgs: Minds, Technologies and the Future of Human Intelligence*. Nueva York: Oxford University Press.

DANCE, F. 1973. *Teoría de la comunicación humana. Ensayos originales*. Buenos Aires: Troquel.

DAVID, A. 1966. *La cibernética y lo humano*. Barcelona: Editorial Labor.

DICK, P. 1997. *¿Sueñan los androides con ovejas eléctricas?* Barcelona: Editorial Edhasa.

DIXON, S. 2007. *Digital Performance: A History of New Media in Theatre, Dance, Performance Art, and Installation*. Cambridge, MA: MIT Press.

DYENS, O. 2001. *Metal and Flesh: the Evolution of Man: Technology Takes Over*. Cambridge, MA: MIT Press.

FEATHERSTONE, M. 2000. *Body Modification*. Londres: SAGE Publications.

FEATHERSTONE, M.; BURROWS, R. 1995. *Cyberspace, Cyberbodies, Cyberpunk*. Londres: SAGE Publications.

FERRATÉ, G. 1986. *Robótica Industrial*. Barcelona: Marcombo.

GALLINO, L. 1995 *Diccionario de Sociología*. México, Siglo XXI.

GIANETTI, C. 1997. *Arte en la era electrónica. Perspectivas de una nueva estética*. Barcelona: L'Angelot.

HARBOU, T. 1985. *Metrópolis*. Madrid: Orbis.

HAYLES, C. 1999. *How we Became Posthuman. Virtual Bodies in Cybernetics, Literature, and Informatics*. Chicago: The University of Chicago Press.

HERKEN, R. 1988. *The Universal Turing Machine*. Hamburg: Kammerer & Unverzagt.

HERNÁNDEZ, D. 2003. *Arte, cuerpo, tecnología*. Salamanca: Ediciones Universidad.

KAC, E. 2010. *Telepresencia y bioarte. Interconexión en red de humanos, robots y conejos*. Murcia: CENDEAC.

KURZWEIL, R. 1999. *The Age of Spiritual Machines*. New York, NY: Penguin Books.

LA METTRIE, J. 2000. *El Hombre máquina*. Madrid: Club Diógenes.

LEONARD, A. 1997. *Bots. The Origin of New Species*. San Francisco: Hardwire.

MANOVICH, L. 2002. *The language of new media*. Cambridge: MIT Press.

McCAFFERY, L. 1991. *Storming the Reality Studio: a Casebook of Cyberpunk and Postmodern Science Fiction*. Durham: Duke University Press.

MENZEL, P.; D'ALUISIO, F. 2000. *Evolution as a New Species Robo Sapiens*. Cambridge, MA: MIT Press.

MICHIE, D.; JOHNSTON, R. 1984. *The Creative Computer: Machine Intelligence and Human Knowledge*. Harmondsworth: Penguin Books.

MINSKY, M. 1985. *Robotics*. Nueva York: Anchor Press/Doubleday.

MITCHELL, W. 2003. *Me ++ The Cyborg Self and the Networked City*. Cambridge, MA: MIT Press.

MORAVEC, H. 1993. *The Age of Robots*. Robotics Institute Carnegie Mellon University.

O'MAHONY, M. 2002. *Cyborg. The Man-Machine*. Londres: Thames & Hudson.

PEDRAZA, P. 1999. *Máquinas de amar. Secretos del cuerpo artificial*. Madrid: Valdemar.

PEIRANO, M., BUENO, S. 2009. *El rival de Prometeo. Vidas de autómatas ilustres*. Impedimenta SL, Madrid.

PENROSE, R. 1989. *The Emperor's New Mind - Concerning Computers, Minds, and The Laws of Physics*. Oxford University Press.

PISCITELLI, A. 2002. *Ciberculturas 2.0. En la era de las máquinas inteligentes*. Barcelona: Paidós.

PITTS, V. 2003. *In the Flesh: The Cultural Politics of Body Modification*. Nueva York: Palgrave Macmillan.

POOLE, D., MACKWORTH, A., GOEBEL, R. 1998. *Computational Intelligence: A Logical Approach*. New York: Oxford University Press.

POWERS, R. 1997. *Galatea 2.2*. Barcelona: Mondadori.

RAWLINS, G. 1997. *Slaves of the Machine*. Cambridge, MA: MIT Press.

REEVES, B.; NASS, C. 1996. *The Media Equation*. CSLI Publications, Stanford, CA.

SALABERT, P. 2007. *El cuerpo es el sueño de la razón y la inspiración una serpiente enfurecida. Marcel·lí Antúnez: cara y contracara*. Murcia: Industrias Gráficas Libecrom.

SHELLEY, M. 2000. *Frankenstein o el moderno Prometeo*. Madrid: Siruela.

SIBILIA, P. 2005. *El hombre postorgánico, cuerpo, subjetividad y tecnologías digitales*. Buenos Aires: Fondo Cultura Económica.

SMITH, M. 2005. *Stelarc: The Monograph*. Cambridge, MA: MIT Press.

VILLIERS DE L'ISLE, A. 1998. *La Eva futura*. Madrid: Valdemar.

WIENER, N. 1948. *Cybernetics: Or Control and Communication in the Animal and the Machine*. Cambridge: MIT Press.

_____. 1969. *Cibernética y Sociedad*, Buenos Aires, Editorial Sudamericana.

WILSON, D. 2005. *How to Survive a Robot Uprising*. Londres: Bloombury.

WINOGRAD, T.; FLORES, F. 1987. *Understanding Computers and Cognition: A New Foundation for Design*. Addison-Wesley.

ZYLINSKA, J. 2002. *The Cyborgs Experiments. The Extensions of the Body in the Media Age*. Londres-Nueva York: Continuum.

6.2 REVISTAS Y ARTÍCULOS

CLYNES, M., KLINE, N. 1960. Cyborgs and Space. *Astronautics*, septiembre de 1960. Artículo.

DIXON, S. 2004. "Metal performance: humanizing robots, returning to nature, and camping about." *TDR: The Drama Review*, 48, 4. Artículo.

KOFFLER, S. 1982. "Obituary: Frank J. Malina (1912-1981)", *Leonardo*, 15,1.

6.3 DOCUMENTOS ON LINE

BREAZEAL, C. 2002. *Emotion and sociable humanoid robots*. MIT, USA. URL: <http://robotic.media.mit.edu/pdfs/journals/Breazeal-ijhcs03.pdf> PDF.

HARAWAY, D. 1991. "A Cyborg Manifesto: Science, Technology, and Socialist-Feminism in the Late Twentieth Century." *Simians, Cyborgs and Women: The Reinvention of Nature*. New York: Routledge. URL: <http://www.facstaff.bucknell.edu/rickard/machinedreams/haraway.pdf>

McCARTHY, J. 2007. *What is Artificial Intelligence?* URL: <http://www-formal.stanford.edu/jmc/whatisai/node1.html> (Consultado el 5 de septiembre de 2013).

RIZO, M. 2012. La comunicación: ciencia, objeto de estudio y campo profesional. Posibilidades para la construcción de la comunicología en un entorno confuso. www.revistametacom.com. PDF (consultado el 2 de septiembre de 2013).

_____. *La comunicación, ¿ciencia u objeto de estudio? Apuntes para el debate*. URL:

<http://perio.unlp.edu.ar/ojs/index.php/question/article/view/887/788> (PDF)

(consultado el 3 de septiembre de 2013).

SERRA, L. "No hi ha blancs ni negres, tots som taronges". *Diario Ara*, 19 de enero de 2011. URL: http://www.ara.cat/premium/ara_tu/No-blancs-negres-tots-taronges_0_411558847.html (Consultado el 2 de junio de 2012).

SWENSON, G. 1963. "ANDY WARHOL, Interview with Gene Swenson, What is Pop Art?", Art News. URL: <http://www.mariabuszek.com/kcai/PoMoSeminar/Readings/WarholIntrvu.pdf> (PDF). (Consultado el 10 de agosto de 2013).

VAKOCH, D. 1998. Signs of Life beyond Earth: A Semiotic Analysis of Interstellar Messages. Leonardo, 31,4.

VINGE, V. 1999. *The Coming Technological Singularity: How to Survive in the Post-Human Era*. Department of Mathematical Sciences of San Diego State University. Versión digital: <http://www.aleph.se/Trans/Global/Singularity/sing.html> (Consultado el 9 de agosto de 2013).

6.4 TESIS Y PROYECTOS FINALES DE MÁSTER

BENITO, I. 2012. *El absurdo en arte e inteligencia artificial*. UPV, Valencia.

ESTEVE, M. 2012. *Escenografía intermedial: Nuevos medios y tecnologías afines a la escena*. UPV, Valencia.

GHETTI, C. 2010. *Abstracción geométrica postmedial*. UPV, Valencia.

GARCÍA, M. 2012. *Complejidad y modelado basado en agentes. Una aproximación a los ecosistemas virtuales en el a-life art*. UPV, Valencia.

IGLESIAS, R. 2012. *La robótica como experimentación artística. Una aproximación histórica a la evolución de las máquinas autómatas desde el prisma de la estética*. UB, Barcelona.

MARTINEZ, F. 2010. *Intervención lumínica. Luz artificial en la percepción-participación del espacio público arquitectónico contemporáneo*. UPV, Valencia.

MARTOS, E. 2011. *Metáforas de la globalización. Tendiendo puentes entre el comportamiento social y la física de fluidos*. UPV, Valencia.

MAYANS, J. 2012. *Augmented user interface*. UPV, Valencia.

PARCERO, I. 2009. *Red-ola. Jukebox experimental músico-visual*. UPV, Valencia.

PIQUERAS, M. 2008. *Fishy: Planteamiento y desarrollo del proyecto*. UPV, Valencia.

PORTALÉS, C. 2008. *Entornos multimedia de realidad aumentada en el campo del arte*. UPV, Valencia.

SANZ, D. 2008. *La práctica audiovisual aplicada a la representación del absurdo humano*. UPV, Valencia.

YANES, D. 2011. *Fiametta 2.0. Interfaz de caracter digital*. UPV, Valencia.

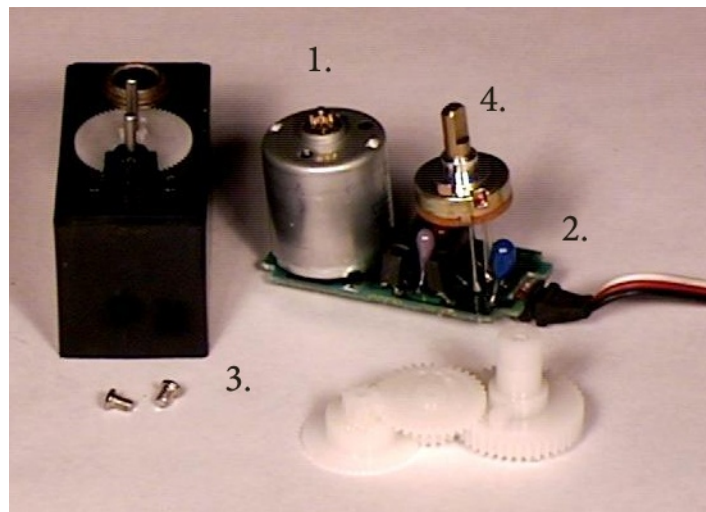
A. ANEXOS



A1. SERVOS

A la hora de realizar un animatrónico deberíamos de entender cuáles son los elementos que lo componen. Entre ellos están los servos, que son los mecanismos motorizados encargados de dar movimiento a las piezas. Así, pues, un servo, o servomotor, es un dispositivo electromecánico compuesto por un motor, un circuito o tarjeta controladora y una serie de engranajes con un eje dentado principal, formando lo que se llama caja reductora. Este eje puede ser posicionado en determinados ángulos y es capaz de mantenerse estable en cualquier posición dentro de su rango de operación. Generalmente se usan en aeromodelismo, coches de radiocontrol, robots y animatrónicos, como en este caso.

Cuando se desmonta un servo pueden verse los siguientes componentes:



(Fig. 80) Componentes de un servomotor

- 1. Motor:** es el encargado de transformar la corriente continua en potencia y puede ser de dos tipos: con o sin escobillas (*brushless*). Los de gama media-alta suelen ser del segundo tipo, ya que duran más, son más veloces y funcionan con mayor suavidad.
- 2. Tarjeta controladora:** se encarga de enviar la señal codificada y controla tanto la posición como la velocidad a la que debe moverse.

3. **Caja reductora:** es el conjunto de engranajes que sirven para transformar y transportar el movimiento del eje del motor al eje dentado de salida.
4. **Potenciómetro:** a través del valor de la resistencia variable indica en qué posición se encuentra el motor a la tarjeta controladora.

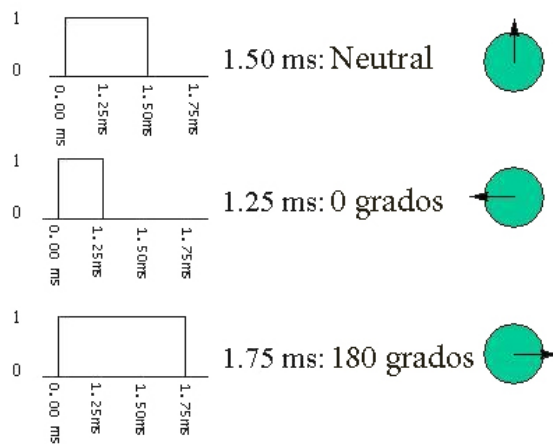
A1.1 FUNCIONAMIENTO DE UN SERVO

En la tarjeta controladora se encuentra un potenciómetro que está conectado al eje principal, de modo que sabiendo qué resistencia ofrece el primero se puede calcular la posición del segundo. Si el eje está en la posición correcta, el motor se apaga, pero si no está donde debería, el motor gira en la dirección adecuada hasta conseguir que se posicione en el ángulo adecuado. Normalmente los ángulos van de 0 a 180 grados, aunque hay fabricantes que los hacen hasta los 210. Dentro del sistema existen unos topes físicos que hacen que no se sobrepasen los extremos, de modo que si se fuerza el servo se oye un zumbido, cosa que debe tenerse en cuenta para no quemarlo.

Según la distancia que tenga que recorrer el eje se aplica una cantidad proporcional de potencia, de modo que cuanto más larga, más correrá y, contrariamente, cuanto más pequeña, más lento irá. A esto se le llama “control proporcional”.

En cuanto a cómo se le comunica al servo el ángulo requerido, se hace por PCM (*Pulse Code Modulation*)¹¹⁷, o MIC (Modulación por Impulsos Codificados) en castellano, a través del cable de señal que da la duración del pulso correspondiente a dicho ángulo. El servo espera recibir un pulso cada 20 milisegundos (0'02 segundos), de modo que la duración del pulso en un determinado momento implicará a qué posición deberá ir el eje. Por ejemplo, si un fabricante decide establecer un pulso de 1'5 milisegundos como posición de 90 grados, cuando se reciba uno de menor tiempo, pongamos 1'25, el eje irá a la posición 0 y cuando sea de 1'75, viajará hasta 180 grados (Fig. 80).

¹¹⁷ PCM es un método utilizado para representar digitalmente señales analógicas, donde la onda es tomada en intervalos uniformes, llamados “muestras”, que pueden tomar un conjunto finito de valores, los cuales se encuentran codificados.



(Fig. 81) Esquema orientativo de los grados de un servo

A1.2 TIPOS DE SERVOS

Según el tipo de placa controladora se diferenciandos clases de servos, siendo analógicos o digitales. La principal diferencia reside en que los segundos incorporan un microprocesador que se encarga de analizar la señal, procesarla y controlar el motor. La principal diferencia es en cuanto a la velocidad de reacción ante un cambio de señal, ya que uno digital puede recibir cinco o seis veces más pulsos en un mismo lapso de tiempo que uno analógico. Traducido, se obtiene en una respuesta más veloz, además de otorgarle más fuerza. Esto es debido a que cualquier servo recibe una alimentación conmutada, y en los analógicos lo está a un ritmo de entre 10 y 22 milisegundos, lo que supone una gran separación entre pulsos cuando lo que se necesita es un ajuste muy pequeño para un cambio de ángulo pequeño, mientras que en los otros la señal llega cada 3'3 milisegundos, más o menos. Dado que para mover un servo se necesita una integración de pulsos, una que esté compuesta por pulsos cortos y muy separados dará una respuesta generalmente errática, de modo que el motor deberá reajustarse constantemente. En los digitales, en cambio, como que los pulsos llegan mucho más a menudo se consigue una integración más estable y una variación de corriente más firme.

Además, los digitales son capaces de programarse, con la ayuda de unos aparatos específicos para cada marca, consiguiendo poder establecer:

- el sentido de giro “normal” o “inverso”;
- la velocidad de reacción del servo;
- la posición central o neutra, sin afectar los radios de giro;
- diferentes topes de recorrido;
- qué debe hacer en caso de perder la señal;
- la resolución, es decir, cuánto puede moverse el control de la radio sin hacer girar el motor.

Pero el aspecto negativo, como norma general, es que los servos digitales consumen más energía que los analógicos, además de que sufren un mayor desgaste del motor.

Dejando aparte la clase de placa controladora, existen también los servos “*coreless*” y los “*brushless*”, que hacen referencia los unos a la inexistencia del pesado núcleo que normalmente tienen los motores normales, y los otros a la ausencia de escobillas que siempre acaban por desgastarse.

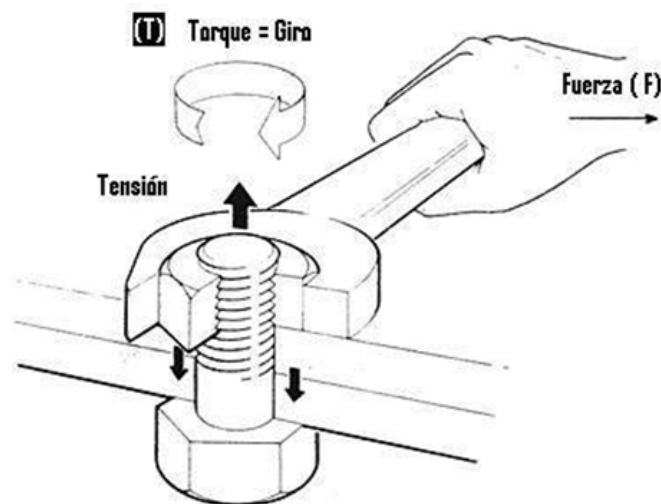
Los *coreless* sustituyen el núcleo por un conjunto de cables envueltos entre sí que giran alrededor de magnetos, de manera que se elimina la inercia que conlleva el primero obteniendo una desaceleración casi instantánea. Esto da un motor más suave y rápido, además de aportarle más potencia.

En cuanto a los *brushless*, al eliminar las escobillas se obtiene un sistema que no sufre rozamiento, evitando así el molesto desgaste de éstas y aportando además más suavidad, potencia, velocidad, aceleración y eficiencia.

A1.3 ELECCIÓN DE UN SERVO

Aparte de lo antes mencionado, habrá que tenerse en cuenta, según la función que deba ejercer el servo, el torque, la velocidad, el voltaje y amperaje requeridos.

El torque, par o momento de una fuerza mide la capacidad de esta fuerza para hacer rotar un eje que pase por un punto concreto, así que será la referencia a la que habrá que recurrir cuando se tenga claro qué fuerza será la requerida para un movimiento concreto del animatrónico. Como es lógico, se necesitará más potencia para articular la mandíbula que los párpados, por ejemplo.



(Fig. 82) Esquema visual del "torque"

En cuanto a la velocidad, un servo estándar recorre un arco de 60 grados en unos 0'15 segundos, mientras que uno de gama alta lo hace en un tercio de ese tiempo. Esto influirá, por ejemplo, a la hora de hacer parpadear.

Finalmente, hay que mirar también el voltaje requerido, además del amperaje. Normalmente se utilizan servos que trabajan a 5 V, aunque para sistemas más grandes pueden usarse otros más potentes. Como es lógico, la corriente consumida dependerá de la potencia del servo, de modo que habrá que calcular cuánto amperaje se necesita para el supuesto caso en que estén

todos los servos moviéndose a la vez. Hay que pensar que uno que esté en carga o haciendo fuerza puede consumir tranquilamente un amperio, cosa que influirá a la hora de escoger la batería o la fuente de alimentación.

Para entender un poco mejor los conceptos de electricidad, el amperaje podría compararse con el caudal de agua que pasa por un conducto, y el voltaje con la presión con la que sale. De este modo, si la cantidad que circula es muy grande para una sección estrecha, irá con mucha presión. Por el contrario, si el conductor eléctrico es grueso, la corriente fluirá sin esfuerzo y a menos presión.

A2 ARDUINO

A2.1 SENSOR DE PROXIMIDAD

El siguiente programa sirve para obtener la lectura del sensor de proximidad por ultrasonidos tanto en pulgadas como en centímetros. A pesar de que en la introducción se comenta que el rango va de 0 a 400 cm, las pruebas que realizamos nos daban resultados que iban de 0 a 667 cm (lectura apuntando al cielo).

```
/*  
*****/  
//      Function: Measure the distance to obstacles in front and print the distance  
//  
//              value to the serial terminal.The measured distance is from  
//  
//              the range 0 to 400cm(157 inches).  
//  
//      Hardware: Ultrasonic Range sensor  
//  
//      Arduino IDE: Arduino-1.0  
//  
//      Author:    LG  
//  
//      Date:      Jan 17,2013  
//  
//      Version:  v1.0 modified by FrankieChu  
//  
//              by www.seeedstudio.com  
//  
//  
//      This library is free software; you can redistribute it and/or  
//      modify it under the terms of the GNU Lesser General Public  
//      License as published by the Free Software Foundation; either  
//      version 2.1 of the License, or (at your option) any later version.  
//  
//  
//      This library is distributed in the hope that it will be useful,  
//      but WITHOUT ANY WARRANTY; without even the implied warranty of  
//      MERCHANTABILITY or FITNESS FOR A PARTICULAR PURPOSE. See the GNU  
//      Lesser General Public License for more details.  
//  
//  
//      You should have received a copy of the GNU Lesser General Public  
//      License along with this library; if not, write to the Free Software  
//      Foundation, Inc., 51 Franklin St, Fifth Floor, Boston, MA 02110-1301 USA  
//  
//  
*****/  
#include "Arduino.h"  
  
class Ultrasonic  
{  
  
    public:
```



```

        Ultrasonic(int pin);
void DistanceMeasure(void);
        long microsecondsToCentimeters(void);
        long microsecondsToInches(void);
    private:
        int _pin; //pin number of Arduino that is connected with SIG pin of
Ultrasonic Ranger.
        long duration; // the Pulse time received;
};
Ultrasonic::Ultrasonic(int pin)
{
    _pin = 3; // pin number;
}
/*Begin the detection and get the pulse back signal*/
void Ultrasonic::DistanceMeasure(void)
{
    pinMode(_pin, OUTPUT);
    digitalWrite(_pin, LOW);
    delayMicroseconds(2);
    digitalWrite(_pin, HIGH);
    delayMicroseconds(5);
    digitalWrite(_pin, LOW);
    pinMode(_pin, INPUT);
    duration = pulseIn(_pin, HIGH);
}
/*The measured distance from the range 0 to 400 Centimeters*/
long Ultrasonic::microsecondsToCentimeters(void)
{
    return duration/29/2;
}
/*The measured distance from the range 0 to 157 Inches*/
long Ultrasonic::microsecondsToInches(void)
{
    return duration/74/2;
}

Ultrasonic ultrasonic(7);
void setup()
{
    Serial.begin(9600);
}
void loop()
{
    long RangeInInches;
    long RangeInCentimeters;
    ultrasonic.DistanceMeasure();// get the current signal time;
    RangeInInches = ultrasonic.microsecondsToInches();//convert the time to inches;
}

```

```
        RangeInCentimeters = ultrasonic.microsecondsToCentimeters();//convert the time to  
centimeters  
        Serial.println("The distance to obstacles in front is: ");  
        Serial.print(RangeInInches); //0~157 inches  
        Serial.println(" inch");  
        Serial.print(RangeInCentimeters); //0~400cm  
        Serial.println(" cm");  
        delay(100);  
    }
```

A2.2 MONTAJE DEFINITIVO

A continuación mostramos la programación que hemos usado para nuestra pieza.

```

#include <Servo.h>
#include "Arduino.h"
class Ultrasonic
{
    public:
        Ultrasonic(int pin);
        void DistanceMeasure(void);
        long microsecondsToCentimeters(void);
        long microsecondsToInches(void);
    private:
        int _pin;//pin number of Arduino that is connected with SIG pin of Ultrasonic
Ranger.
        long duration;// the Pulse time received;
};
Ultrasonic::Ultrasonic(int pin)
{
    _pin = 11;
}
/*Begin the detection and get the pulse back signal*/
void Ultrasonic::DistanceMeasure(void)
{
    pinMode(_pin, OUTPUT);
    digitalWrite(_pin, LOW);
    delayMicroseconds(2);
    digitalWrite(_pin, HIGH);
    delayMicroseconds(5);
    digitalWrite(_pin,LOW);
    pinMode(_pin,INPUT);
    duration = pulseIn(_pin,HIGH);
}
/*The measured distance from the range 0 to 400 Centimeters*/
long Ultrasonic::microsecondsToCentimeters(void)
{
    return duration/29/2;
}
/*The measured distance from the range 0 to 157 Inches*/
long Ultrasonic::microsecondsToInches(void)
{
    return duration/74/2;
}

```

```

Ultrasonic ultrasonic(7);
Servo ojos;
Servo boca;
Servo parpados;
Servo cejas;

char Array[] = {0,1,0,0,1,0,0,0,0,1,1,0,0,1,0,1,0,1,1,0,1,1,0,0,0,1,
1,0,1,1,0,0,0,1,1,0,1,1,1,1,0,0,1,0,0,0,0,0,0,1,1,1,0,1,1,0,1,1,0,
1,1,1,1,0,1,1,1,0,0,1,0,0,1,1,0,1,1,0,0,0,1,1,0,0,1,0,0,0,0,1,0,0,0,
0,1}; //"Hello World!" en binario
int timer = 250;
int timer2 = 100;
void setup(){

  Serial.begin(9600);
  ojos.attach(3);
  boca.attach(6);
  parpados.attach(5);
  cejas.attach(9);
}
void loop() {

  long RangeInCentimeters;
  ultrasonic.DistanceMeasure();// get the current signal time;
  RangeInCentimeters = ultrasonic.microsecondsToCentimeters();//convert the time to centimeters
  Serial.println("The distance to obstacles in front is: ");
  Serial.print(RangeInCentimeters);//0-400cm
  Serial.println(" cm");
  delay(500);
  if (RangeInCentimeters < 60) { ////Distancia mínima para activarse la rutina
  //// INICIO DE LA RUTINA "Hello World!"
  //// CON TODOS LOS SERVOS

  parpados.write(55); //Párpados abiertos
  ojos.write(95); //mirada centrada
  cejas.write(70); //cejas normales
  boca.write(180); //boca cerrada

  for (int i = 0 ; i <= 95; i++) {
    if (Array[i]==0) {
      ojos.write (84); //mira a su derecha
      boca.write (180); //cierra la boca
      cejas.write (70); //cejas posición neutra
      parpados.write (80); //cerrados

      delay(timer);
    }
    else {

```

```

ojos.write (115); //mira a su izquierda
boca.write (155); //abre boca
cejas.write (40); //cejas levantadas
parpados.write (55); //Párpados abiertos
delay (timer);
}}
///// INICIO DE LA RUTINA "Hello World!"
///// CADA SERVO LEE UNA LETRA DE 8 BITS
parpados.write(55); //Párpados abiertos
ojos.write(95); //mirada centrada
cejas.write(70); //cejas normales
boca.write(180); //boca cerrada
//////////////////////////////////// "H"
for (int i = 0 ; i <= 7; i++) {
  if (Array[i]==0) {
    ojos.write (84); //mira a su derecha
    delay(timer2); }
    else {
    ojos.write (115); //mira a su izquierda
    delay (timer2); }
    ojos.write(95); //mirada centrada
  }
//////////////////////////////////// "e"
for (int i = 8 ; i <= 15; i++) {
  if (Array[i]==0) {
    parpados.write (80); //Párpados cerrados
    delay(timer2); }
    else {
    parpados.write (55); //Párpados abiertos
    delay (timer2); }
    parpados.write(55); //Párpados abiertos
  }
//////////////////////////////////// "l"
for (int i = 16 ; i <= 23 ; i++) {
  if (Array[i]==0) {
    boca.write(180); //boca cerrada
    delay(timer2); }
    else {
    boca.write (155); //abre boca
    delay (timer2); }
    boca.write(180); //boca cerrada
  }
//////////////////////////////////// "l"
for (int i = 24 ; i <= 31 ; i++) {
  if (Array[i]==0) {
    cejas.write(70); //cejas normales
    delay(timer2); }

```

```

        else {
            cejas.write (40); //cejas levantadas
        delay (timer2); }
            cejas.write(70); //cejas normales
        }
//////////////////////////////////// "o"
for (int i = 32 ; i <= 39; i++) {
    if (Array[i]==0) {
        ojos.write (84); //mira a su derecha
        delay(timer2); }
        else {
            ojos.write (115); //mira a su izquierda
        delay (timer2); }
        ojos.write(95); //mirada centrada
    }
}
//////////////////////////////////// " "
for (int i = 40 ; i <= 47; i++) {
    if (Array[i]==0) {
        parpados.write (80); //Párpados cerrados
        delay(timer2); }
        else {
            parpados.write (55); //Párpados abiertos
        delay (timer2); }
        parpados.write(55); //Párpados abiertos
    }
}
//////////////////////////////////// "W"
for (int i = 48 ; i <= 55; i++) {
    if (Array[i]==0) {
        boca.write(180); //boca cerrada
        delay(timer2); }
        else {
            boca.write (155); //abre boca
        delay (timer2); }
        boca.write(180); //boca cerrada
    }
}
//////////////////////////////////// "o"
for (int i = 56 ; i <= 63 ; i++) {
    if (Array[i]==0) {
        cejas.write(70); //cejas normales
        delay(timer2); }
        else {
            cejas.write (40); //cejas levantadas
        delay (timer2); }
        cejas.write(70); //cejas normales
    }
}
//////////////////////////////////// "r"

```

```

for (int i = 64 ; i <= 71; i++) {
  if (Array[i]==0) {
    ojos.write (84); //mira a su derecha
    delay(timer2); }
  else {
    ojos.write (115); //mira a su izquierda
    delay (timer2); }
    ojos.write(95); //mirada centrada
  }
}
//////////////////////////////////// "l"
for (int i = 72 ; i <= 79; i++) {
  if (Array[i]==0) {
    parpados.write (80); //Párpados cerrados
    delay(timer2); }
  else {
    parpados.write (55); //Párpados abiertos
    delay (timer2); }
    parpados.write(55); //Párpados abiertos
  }
}
//////////////////////////////////// "d"
for (int i = 80 ; i <= 87 ; i++) {
  if (Array[i]==0) {
    boca.write(180); //boca cerrada
    delay(timer2); }
  else {
    boca.write (155); //abre boca
    delay (timer2); }
    boca.write(180); //boca cerrada
  }
}
//////////////////////////////////// "!"
for (int i = 88 ; i <= 95 ; i++) {
  if (Array[i]==0) {
    cejas.write(70); //cejas normales
    delay(timer2); }
  else {
    cejas.write (40); //cejas levantadas
    delay (timer2); }
    cejas.write(70); //cejas normales
  }
}
}
}
}

```

A4 PRESUPUESTO

A continuación presentamos un listado los materiales que hemos utilizado para la realización de nuestro animatrónico, acompañados de los precios orientativos:

- ◆ 3'5 Kg de resina de poliéster: 37€;
- ◆ 4 Kg de silicona para moldes: 60€;
- ◆ 3 Kg de escayola para moldes: 4€;
- ◆ 2 m² de fibra de vidrio: 4€;
- ◆ 1 m² de arpillera: 2€;
- ◆ 300 g de espuma de látex: 8€;
- ◆ 4 Servomotores Futaba S3003: 34€;
- ◆ 7 rótulas de aerodelismo: 7€;
- ◆ Platinas metálicas y tornillos: 4€;
- ◆ Pinturas, cola de contacto, barnices y pestañas postizas: 3€;
- ◆ Arduino UNO: 26€;
- ◆ Sensor de proximidad por ultrasonidos PING: 28 €;
- ◆ Fuente de alimentación de 500 W para ordenador: 18€;

TOTAL: 235 €

Nota: No hemos incluido los gastos en materiales como brochas, disolvente para limpiar, recipientes de trabajo, guantes desechables, máscaras de protección, etc.

A3 PROVEEDORES DE MATERIAL

www.mouldlife.co.uk Todo tipo de materiales para prótesis;

www.resineco.com Resinas, mats de fibra, siliconas, plastilina y desmoldantes.

Barcelona;

www.jsagrsta.com Poliuretanos, mats de fibra, siliconas y plastilina. Barcelona;

www.formfx.eu Tienda de material para efectos especiales. Amsterdam;

www.formx.es Filial de la anterior en Barcelona;

www.burmanfoam.com Tienda de efectos especiales americana;

www.shalix.es Depósito médico. Jeringas, vendas de yeso, guantes de látex, etc. Barcelona;

www.bnb-dental.com Depósito dental con tienda on-line. Barcelona;

www.manuelriesgo.com Productos químicos, Madrid;

www.feroca.com Poliuretanos, mats de fibra, siliconas y plastilina. Madrid;

www.marphil.es Tienda de bellas artes y escultura online. Madrid;

www.hobbyking.com Tienda con todo tipo de material para radiocontrol

www.futaba-rc.com Página oficial de Futaba, servomotores y productos de radio control;

www.hitecrad.com Página oficial Hitec, material de radio control;

www.modelshop.co.uk Tienda donde comprar esferas para los ojos;

www.bricogeek.com: elementos electrónicos como Arduino, sensores, etc;

www.tiranti.co.uk Poliuretanos, mats de fibra, siliconas y plastilina. Londres.

LISTADO DE FIGURAS

Pág.	Nombre
14	(Fig. 1) Ejemplo de pantalla interactiva, por Nikolai Cornell
16	(Fig. 2) Kismet, desarrollado por Cynthia Breazeal en el MIT
18	(Fig. 3) Crecimiento exponencial de la computación según Ray Kurzweil
26	(Fig. 6) El androide Geminoid HI-1y su creador, Hiroshi Ishiguro
32	(Fig. 9) Diagrama del Uncanny Valley de Masahiro Mori
36	(Fig. 12) Hello world! en una pantalla LCD
37	(Fig. 13) Tabla del código ASCII con sus valores decimales, binarios y hexadecimales
41	(Fig. 14) Representación gráfica del Teorema de Pitágoras
42	(Fig. 15) Mensaje de Arecibo y su significado
45	(Fig. 16) Nicolas Schöffer con sus creaciones
50	(Fig. 21) Skeletal Reflexions, de Chico MacMurtrie
52	(Fig. 22) DSM-VI en BIAN 2012 (Biennale Internationale des Arts Numériques), Montreal, 2012
53	(Fig. 26) Plowgirl junkie, de Garvey
56	(Fig. 28) Intervención de “Ear on arm”
56	(Fig. 16) Stelarc con su “Ear on arm”
58	(Fig. 32) Giantbum de Mellors
70	(Fig. 42) Apliación de silicona tixotropada
70	(Fig. 43) Caja madre en venda de escayola
86	(Fig. 76) Boca forzada manualmente
86	(Fig. 77) Boca abierta por servo
86	(Fig. 78) Boca cerrada
87	(Fig. 79) Sensor de proximidad por ultrasonidos
105	(Fig. 80) Componentes de un servomotor
108	(Fig. 81) Esquema orientativo de los grados de un servo
109	