



Tesis Doctoral

**SISTEMA DE INTEGRACIÓN DE LABORATORIOS REMOTOS
DE ROBÓTICA (SiLaRR): LABORATORIO REMOTO DE
ROBÓTICA, ESCALABLE, VERSÁTIL Y MODULAR**

GERMÁN CARRO FERNÁNDEZ

*Licenciado en Ciencias Económicas y Empresariales por la Universidad de
A Coruña (UDC), A Coruña, España (1996)*

*Máster en Administración Financiera y Tributaria por la Universidad de
A Coruña (UDC) y la Escuela de Hacienda Pública (EHP), A Coruña, España (1997)*

*Ingeniero Técnico en Informática de Sistemas por la Universidad Nacional de
Educación a Distancia (UNED), Madrid, España (2010)*

*Máster en Investigación en Ingeniería Eléctrica, Electrónica y Control Industrial por la
Universidad Nacional de Educación a Distancia (UNED), Madrid, España (2012)*

Tesis Doctoral presentada en el

**DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA ELÉCTRICA,
ELECTRÓNICA Y DE CONTROL (DIEEC)**

**ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIEROS
INDUSTRIALES (ETSII)**

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE EDUCACIÓN
A DISTANCIA (UNED)**

como parte de los requerimientos para la obtención del Grado de
Doctor

2014



Tesis Doctoral

SISTEMA DE INTEGRACIÓN DE LABORATORIOS REMOTOS DE
ROBÓTICA (SiLaRR): LABORATORIO REMOTO DE ROBÓTICA,
ESCALABLE, VERSÁTIL Y MODULAR

INTEGRATION SYSTEM OF REMOTE ROBOTICS LABORATORIES
(SiLaRR): REMOTE LABORATORY OF ROBOTICS, SCALABLE,
VERSATILE AND MODULAR

Autor

GERMÁN CARRO FERNÁNDEZ

Licenciado en Ciencias Económicas y Empresariales, Máster en Administración
Financiera y Tributaria, Ingeniero Técnico en Informática de Sistemas, Máster en
Investigación en Ingeniería Eléctrica, Electrónica y Control Industrial

Director

Dr. MANUEL-ALONSO CASTRO GIL

Co-Director

Dr. FRANCISCO MUR PÉREZ

Tesis Doctoral presentada en el
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA ELÉCTRICA, ELECTRÓNICA Y DE
CONTROL (DIEEC)

ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIEROS INDUSTRIALES (ETSII)
UNIVERSIDAD NACIONAL DE EDUCACIÓN A DISTANCIA (UNED)
como parte de los requerimientos para la obtención del Grado de
Doctor

AÑO 2014

DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA ELÉCTRICA, ELECTRÓNICA Y DE CONTROL

ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIEROS INDUSTRIALES
UNIVERSIDAD NACIONAL DE EDUCACIÓN A DISTANCIA

Tesis Doctoral

SISTEMA DE INTEGRACIÓN DE LABORATORIOS REMOTOS DE
ROBÓTICA (SiLaRR): LABORATORIO REMOTO DE ROBÓTICA,
ESCALABLE, VERSÁTIL Y MODULAR

INTEGRATION SYSTEM OF REMOTE ROBOTICS LABORATORIES
(SiLaRR): REMOTE LABORATORY OF ROBOTICS, SCALABLE,
VERSATILE AND MODULAR

Autor:

GERMÁN CARRO FERNÁNDEZ

Licenciado en Ciencias Económicas y Empresariales, Máster en Administración
Financiera y Tributaria, Ingeniero Técnico en Informática de Sistemas, Máster en
Investigación en Ingeniería Eléctrica, Electrónica y Control Industrial

Director:

Dr. MANUEL-ALONSO CASTRO GIL

Co-Director:

Dr. FRANCISCO MUR PÉREZ

Comisión Evaluadora:

Calificación: _____ **Fecha:** _____

Código UNESCO: 120314, 331115

Índice de contenido

| | |
|------------------------|--------|
| Agradecimientos | XI |
| Índice de figuras..... | XIII |
| Índice de tablas | XXI |
| Glosario..... | XXIII |
| Resumen | XXVII |
| Summary | XXIX |
| Prefacio | XXXIII |

Capítulo 1

| | |
|---|---|
| 1. Introducción | 1 |
| 1.1. Laboratorios remotos y robótica | 2 |
| 1.2. Innovaciones que aporta este trabajo | 3 |
| 1.3. Organización de este trabajo | 5 |

Capítulo 2

| | |
|---|----|
| 2. Laboratorios remotos de robótica: Situación actual | 9 |
| 2.1. Evolución histórica | 9 |
| 2.2. Laboratorios remotos | 11 |
| 2.3. La robótica y su integración en entornos educativos e industriales | 12 |
| 2.4. La simulación como alternativa | 13 |
| 2.5. Laboratorios remotos de robótica | 19 |
| 2.5.1. Hardware y software, sistemas utilizados | 21 |
| 2.5.2. Ventajas e inconvenientes | 27 |
| 2.5.3. Un nuevo enfoque: la generalización | 29 |

| | |
|-------------------------|----|
| 2.6. Conclusiones | 30 |
|-------------------------|----|

Capítulo 3

| | |
|---|-----------|
| 3. Entornos modulares, escalables y económicos | 33 |
| 3.1. La nueva revolución industrial | 33 |
| 3.2. La necesidad de integración de los equipos robotizados | 34 |
| 3.3. Economías de escala y reutilización | 35 |
| 3.3.1. La oportunidad de las crisis | 35 |
| 3.3.2. Incremento de la eficiencia | 37 |
| 3.4. Las posibilidades de las nuevas tecnologías | 39 |
| 3.5. Hardware y software libre | 39 |
| 3.6. Conclusiones | 41 |

Capítulo 4

| | |
|---|-----------|
| 4. SiLaRR: Laboratorio remoto de robótica escalable, versátil y modular..... | 43 |
| 4.1. Especificaciones del sistema..... | 43 |
| 4.2. Hardware | 49 |
| 4.2.1. Arduino | 49 |
| 4.2.2. Raspberry Pi | 52 |
| 4.2.3. BeagleBone | 54 |
| 4.3. Software | 56 |
| 4.3.1. Apache | 56 |
| 4.3.2. PHP | 57 |
| 4.3.3. MySQL | 57 |
| 4.3.4. Otro software | 58 |
| 4.4. Emisión de vídeo en streaming | 59 |

| | |
|--|----|
| 4.4.1. Integración con HTML5 o Flash | 60 |
| 4.4.2. Integración con VLC y archivos *.*asx o Yawcam | 62 |
| 4.5. <i>Comunicaciones</i> | 74 |
| 4.5.1. Serie | 74 |
| 4.5.2. Wi-Fi | 79 |
| 4.5.3. Ethernet | 81 |
| 4.5.4. Bluetooth | 82 |
| 4.6. <i>La robótica es solo el principio: generalización del sistema</i> | 82 |
| 4.7. <i>API de gestión inteligente</i> | 87 |
| 4.8. <i>Administración y toma de datos</i> | 92 |
| 4.9. <i>Conclusiones</i> | 96 |

Capítulo 5

| | |
|---|-----------|
| 5. Implementación y desarrollo del sistema | 99 |
| 5.1. <i>Lado del servidor</i> | 99 |
| 5.2. <i>Lado del cliente</i> | 110 |
| 5.3. <i>Gestión y configuración del sistema</i> | 116 |
| 5.4. <i>Gestión de datos de usuarios y laboratorios</i> | 146 |
| 5.5. <i>Modularidad</i> | 154 |
| 5.6. <i>Integración</i> | 155 |
| 5.6.1. Modelado SICTER | 155 |
| 5.6.2. Ajustes personalizados | 160 |
| 5.7. <i>Conclusiones</i> | 161 |

Capítulo 6

| | |
|---|------------|
| 6. Utilización práctica del sistema | 163 |
| <i>6.1. Entornos con equipos robotizados</i> | 163 |
| 6.1.1. Proyecto TechnoMuseum | 163 |
| 6.1.2. Máster del proyecto RIPLECS | 165 |
| 6.1.3. Trabajos de Fin de Máster, Proyectos Fin de Carrera y Doctorados del DIEEC | 168 |
| <i>6.2. Entornos generalistas</i> | 171 |
| 6.2.1. Proyecto Go-Lab | 171 |
| 6.2.2. Colegios y otras instituciones educativas | 177 |
| 6.2.3. Internet de las cosas: diseño, implementación e integración de dispositivos | 178 |
| <i>6.3. Análisis de datos y de uso del sistema</i> | 179 |
| 6.3.1. Experiencia de administradores | 180 |
| 6.3.2. Experiencia de tutores | 187 |
| 6.3.3. Experiencia de alumnos | 192 |
| <i>6.4. Costes de desarrollo</i> | 195 |
| <i>6.5. Conclusiones</i> | 198 |

Capítulo 7

| | |
|--|------------|
| 7. Conclusiones y líneas de investigación futuras | 201 |
| <i>7.1. Conclusiones y aportaciones de este trabajo</i> | 201 |
| <i>7.2. Desarrollos y aplicaciones futuras</i> | 205 |
| 7.2.1. Aumentar el número de módulos disponibles | 205 |
| 7.2.2. Integrar módulos generalistas en el sistema | 208 |
| 7.2.3. Desarrollar paquetes de laboratorios o gestionar laboratorios existentes | 208 |

| | |
|--|-----|
| 7.2.4. Desarrollar un repositorio de laboratorios que utilicen este sistema como modelo de integración | 209 |
| 7.2.5. Ofrecer e implementar este sistema en otros centros | 209 |
| 7.2.6. Extender el uso del sistema a entornos de alta precisión: médicos, militares, de rescate, entre otros | 210 |

Bibliografía

| | |
|---|------------|
| Bibliografía y páginas web de referencia | 211 |
| Referencias bibliográficas..... | 211 |
| Bibliografía de consulta..... | 239 |
| Currículum Vitae..... | 243 |
| Anexo 1. Contenido del DVD-ROM..... | 247 |
| Anexo 2. Código fuente..... | 249 |
| Anexo 3. Otros méritos | 271 |

Agradecimientos

A mi esposa Estela sin cuyo apoyo, ayuda y paciencia nunca hubiera llegado a luchar por mis sueños, y mucho menos a conseguirlos.

A mi familia, a mis padres Julia y Germán que me educaron desde el valor del trabajo y el esfuerzo y a mi hermana Marta.

A mis abuelos Luisa y Julio que me mostraron que la tenacidad por aprender supera siempre a la ignorancia por imposición, seguro que allá donde estén están tan felices como yo al ver que he podido hacer realidad mis sueños.

A Ramón Carrasco por la ayuda en la puesta en práctica de SiLaRR, por la cesión gratuita de sus servidores, y por su colegio, lleno de personas que están deseando probar nuevas formas de enseñar y educar.

A Iago Rubio por ser el primero en ayudarme implementar un módulo complejo de interacción pensando en SiLaRR. Algo solo al alcance de alguien que; como él; piensa en modo línea de comandos.

A Manuel Castro cuyo apoyo desde el primer momento ha desembocado en este proyecto; y otros; y que espero que siga dando frutos que nos lleven a nuevos y exitosos proyectos.

A Paco Mur que, años atrás y sin apenas conocerme me avaló para presentar mi candidatura a la *Robotics and Automation Society* afianzando aún más mi pasión por la robótica.

A Sergio Martín cuyas preguntas incómodas consiguieron que este proyecto fuera coherente y abarcara todos los campos necesarios para resultar de interés.

A Elio Sancristobal, cuyas sugerencias y recomendaciones ayudaron a que este trabajo fuera eficiente, no solo en el ámbito educativo, sino también para el desarrollo académico del autor.

A aquellos con quién me he encontrado en el camino de la divulgación tecnológica y que me han acogido como uno más, animándome y apoyándome, y con los que espero seguir encontrándome, Inmaculada Plaza, Javier Garcia Zubia, Pepe Carpio, Pablo Orduña y tantos otros.

A todos aquellos que conforman el Departamento de Ingeniería Eléctrica, Electrónica y de Control, por los buenos ratos que hemos pasado juntos investigando; y disfrutando; y por los que espero, pasaremos.

Germán Carro Fernández
A Coruña, España
Abril de 2014

Índice de figuras

| | |
|--|----|
| Figura 2.1. Caballero mecánico de Leonardo Da Vinci, reconstruido por Mark Rosheim en 2002. Museo de Leonardo en Florencia. | 10 |
| Figura 2.2. Interfaz personalizada de CIROS..... | 14 |
| Figura 2.3. Imagen del software CIROS y su calidad de detalles 3D | 15 |
| Figura 2.4. Esquema de planificación de tareas en Arena..... | 16 |
| Figura 2.5. Entorno FlexSim de simulación de cadena de brazos robotizados | 17 |
| Figura 2.6. Nivel de detalle en sombras y texturas de Webots con robots Nao | 18 |
| Figura 2.7. Webots en el desarrollo de una simulación de “futbot” con varios Nao | 19 |
| Figura 2.8. Integración de Arduino UNO en MatLab | 22 |
| Figura 2.9. Integración de Raspberry Pi en Simulink de MatLab | 22 |
| Figura 2.10. Integración de BeagleBoard en Simulink de MatLab..... | 23 |
| Figura 2.11. Integración de Lego Mindstorm en MatLab | 24 |
| Figura 2.12. Integración de Arduino en LabVIEW | 25 |
| Figura 2.13. Imagen del NI USB-6008..... | 26 |
| Figura 2.14. Lego Mindstorm y LabVIEW | 27 |
| Figura 3.1. La globalización y las nuevas tecnologías son una herramienta más a utilizar en la formación en robótica..... | 36 |
| Figura 3.2. Una adecuada formación conlleva una mayor cualificación..... | 37 |
| Figura 4.1. Mapa conceptual completo con itinerario de investigación seguido ... | 48 |
| Figura 4.2. Placa Arduino UNO R3 | 50 |
| Figura 4.3. Arduino IDE (Entorno de Desarrollo Integrado) en acción..... | 51 |
| Figura 4.4. Shield Wi-Fi de Arduino..... | 52 |
| Figure 4.5. Shield Ethernet de Arduino..... | 52 |
| Figura 4.6. Raspberry Pi Modelo B..... | 53 |

| | |
|--|----|
| Figura 4.7. Sistema Operativo Raspbian integrado en la tarjeta SD de Raspberry Pi | 54 |
| Figura 4.8. BeagleBone Black | 55 |
| Figura 4.9. Sistema operativo Ångström integrado en la tarjeta SD de BeagleBone Black. | 55 |
| Figura 4.10. Logotipo de Apache | 56 |
| Figura 4.11. Logotipo de PHP. | 57 |
| Figura 4.12. Logotipo de MySQL | 57 |
| Figura 4.13. Logotipo de WampServer | 58 |
| Figura 4.14. Ejemplo de archivo *.swf embebido en una página web con HTML. | 60 |
| Figura 4.15. Ejemplo de archivos *.mp4 y *.ogg embebidos en una página web con HTML5. | 61 |
| Figura 4.16. Codificación de archivo *.asx para lanzamiento de <i>streaming</i> de vídeo desde cámara web. | 63 |
| Figura 4.17. Selección del dispositivo de captura de vídeo..... | 63 |
| Figura 4.18. Selección de modo de emisión y puerto de salida..... | 64 |
| Figura 4.19. Selección de formato de salida de vídeo/audio. | 64 |
| Figura 4.20. Emisión vía reproductor VLC..... | 65 |
| Figura 4.21. Código de llamada al archivo *.asx desde HTML. | 65 |
| Figura 4.22. Emisión en <i>streaming</i> en servidor local usando la web de SiLaRR. .. | 66 |
| Figura 4.23. Detalle que permite apreciar que lo que está viendo VLC a través de la cámara es lo que se muestra a través del servidor local..... | 66 |
| Figura 4.24. Configuración del cortafuegos para VLC. | 67 |
| Figura 4.25. Modificación manual de la configuración de Apache para poder usar *.asx en SiLaRR con VLC..... | 68 |
| Figura 4.26. Selección de la cámara deseada con Yawcam. | 68 |
| Figura 4.27. Previsualización de la imagen de la cámara desde Yawcam. | 69 |

| | |
|---|----|
| Figura 4.28. Selección de puerto para emisión en <i>streaming</i> con Yawcam..... | 69 |
| Figura 4.29. Obtención de dirección IP local para emisión en <i>streaming</i> con Yawcam. | 70 |
| Figura 4.30. Utilidad para la obtención de dirección IP externa para emisión directa. | 71 |
| Figura 4.31. Código de selección de IP y puerto desde HTML. | 71 |
| Figura 4.32. <i>Streaming</i> de vídeo usando Yawcam con indicación de la IP de conexión del espectador conectado. | 72 |
| Figura 4.33. Gestión de usuarios que acceden al <i>streaming</i> en un momento dado (el nombre del host se ha ocultado por seguridad). | 72 |
| Figura 4.34. Gestión de la imagen emitida de manera directa desde el <i>frame</i> que aloja a la cámara. | 73 |
| Figura 4.35. Modelo de Arduino con puerto serie..... | 74 |
| Figura 4.36. Asignación de puerto COM serie emulado vía USB mediante <i>drivers</i> de Arduino..... | 75 |
| Figura 4.37. Extracto de código para comunicación con Arduino usando puerto serie en SiLaRR. | 76 |
| Figura 4.38. Extracto de código para comunicación en el Arduino usando puerto serie en SiLaRR. | 76 |
| Figura 4.39. Extracto de código para comunicación con Arduino usando shield Wi-Fi en SiLaRR. | 80 |
| Figura 4.40. Extracto de código para comunicación en el Arduino usando shield Wi-Fi en SiLaRR. | 80 |
| Figura 4.41. Extracto de código para comunicación con Arduino usando shield Ethernet en SiLaRR. | 81 |
| Figura 4.42. Extracto de código para comunicación en el Arduino usando shield Ethernet en SiLaRR. | 82 |
| Figura 4.43. Estructura del sistema SiLaRR..... | 86 |
| Figura 4.44. Relaciones de la API de gestión inteligente (AGI) con el exterior. | 87 |
| Figura 4.45. Estructura genérica de la API de gestión inteligente (AGI)..... | 90 |
| Figura 4.46. Visión del sistema y funcionamiento de caja negra. | 91 |

| | |
|---|-----|
| Figura 4.47. Relación del hardware del laboratorio en la base de datos. | 93 |
| Figura 4.48. Relación entre usuarios y reservas. | 94 |
| Figura 4.49. Relación entre usuarios y laboratorios. | 95 |
| Figura 4.50. Relación completa de la base de datos entre usuarios, laboratorios y reservas. | 96 |
| Figura 5.1. Recogida de datos durante el proceso de instalación para configurar el servidor. | 101 |
| Figura 5.2. Implementación en Delphi de la recogida de datos durante el proceso de instalación..... | 102 |
| Figura 5.3. Gestión de instalación del software necesario recomendado para el correcto funcionamiento de SiLaRR | 103 |
| Figura 5.4. Ventana de comprobación de datos para SiLaRR..... | 104 |
| Figura 5.5. Interfaz de instalación de WampServer. | 105 |
| Figura 5.6. Confirmación de que WampServer está funcionando correctamente... .. | 105 |
| Figura 5.7. Instalador gestionando cambios en el servidor automáticamente. | 106 |
| Figura 5.8. Código fuente implementado para lanzar los cambios necesarios en MySQL con los datos del usuario..... | 106 |
| Figura 5.9. Función desarrollada en el instalador que introduce los parámetros previamente solicitados y lanza el aviso adecuado en caso de éxito o error. | 107 |
| Figura 5.10. Mensaje confirmando la actualización correcta de datos de usuario administrador. | 107 |
| Figura 5.11. Directorio de instalación del servidor de SiLaRR..... | 108 |
| Figura 5.12. Activación de extensión “php_sockets” en WampServer..... | 109 |
| Figura 5.13. Desplegar WampServer en Internet. | 110 |
| Figura 5.14. Portal de acceso al sistema SiLaRR desde Internet. | 112 |
| Figura 5.15. Asignación previa mediante intervalo temporal. | 113 |
| Figura 5.16. Asignación previa mediante día y hora concretos..... | 114 |
| Figura 5.17. Asignación mediante reserva directa. | 115 |

| | |
|---|-----|
| Figura 5.18. Contador de tiempo de espera en laboratorio ocupado. | 115 |
| Figura 5.19. Laboratorio accesible automáticamente una vez el laboratorio queda libre. | 116 |
| Figura 5.20. Selección de idioma del instalador..... | 117 |
| Figura 5.21. Desinstalación de SiLaRR usando el acceso rápido. | 118 |
| Figura 5.22. Desinstalación de SiLaRR desde la carpeta del programa..... | 119 |
| Figura 5.23. Extracto del código implementado para controlar el brazo robotizado con SiLaRR. | 120 |
| Figura 5.24. Esquema eléctrico complementario a Arduino para la conexión con el brazo robotizado y gestión de sus servicios con SiLaRR. | 121 |
| Figura 5.25. Puente en H dual con circuito integrado ST L298N e indicaciones del fabricante sobre sus opciones de conexión..... | 122 |
| Figura 5.26. Extracto del código implementado para Arduino, para controlar el brazo robotizado con SiLaRR..... | 122 |
| Figura 5.27. Extracto del código implementado para controlar el módulo de laboratorio personalizado con SiLaRR..... | 123 |
| Figura 5.28. Extracto del código implementado para Arduino, para controlar el módulo de laboratorio personalizado con SiLaRR..... | 124 |
| Figura 5.29. Extracto del código implementado para controlar el LED RGB con SiLaRR. | 125 |
| Figura 5.30. Esquema eléctrico en Arduino para la conexión con el LED RGB y gestión de sus servicios con SiLaRR..... | 126 |
| Figura 5.31. Extracto del código implementado para Arduino, para controlar el LED RGB con SiLaRR..... | 126 |
| Figura 5.32. Extracto del código implementado para Arduino, para controlar el robot de ruedas con SiLaRR..... | 128 |
| Figura 5.33. Configuración de idioma de SiLaRR. | 129 |
| Figura 5.34. Pantalla de inicio de SiLaRR. | 130 |
| Figura 5.35. Verificación positiva de herramientas necesarias. | 131 |
| Figura 5.36. Pantalla de selección de protocolo de comunicaciones..... | 131 |
| Figura 5.37. Pantalla de selección de laboratorios de robótica. | 132 |

| | |
|---|-----|
| Figura 5.38. Pantalla de selección de otros laboratorios. | 133 |
| Figura 5.39. Pantalla de configuración para puerto serie. | 134 |
| Figura 5.40. Pantalla de configuración para shield Wi-Fi. | 135 |
| Figura 5.41. Pantalla de configuración para shield Ethernet. | 136 |
| Figura 5.42. Pantalla de configuración de servidor y cámaras. | 138 |
| Figura 5.43. Pantalla de compilación de archivos. | 139 |
| Figura 5.44. Archivos generados para desplegar en Internet el laboratorio creado dentro de la carpeta del propio laboratorio “UnedBrazo”. | 139 |
| Figura 5.45. Generación de archivo *.*ino dentro de la carpeta “UnedBrazolab” dentro de la carpeta del propio laboratorio “UnedBrazo”. | 140 |
| Figura 5.46. Carga del archivo *.*ino en el IDE de Arduino. Se aprecian los valores de pines seleccionados así como los datos de MAC, IP y puerto. | 141 |
| Figura 5.47. Pantalla de edición de configuración. Accede directamente a la base de datos alojada en el lado del servidor de SiLaRR. | 143 |
| Figura 5.48. Instalación, configuración y despliegue del sistema. | 145 |
| Figura 5.49. Gestión de servicios de cambio o asignación de tutor por un administrador. | 146 |
| Figura 5.50. Edición de los datos de un laboratorio por un administrador. | 147 |
| Figura 5.51. Activar o desactivar laboratorio. | 148 |
| Figura 5.52. Se puede acceder directamente a un laboratorio libre pulsando “Usar laboratorio”. | 149 |
| Figura 5.53. Funcionamiento de laboratorios en anillo. | 150 |
| Figura 5.54. Listado de informes de un alumno por laboratorio. | 151 |
| Figura 5.55. Subida y acceso a ficheros de un laboratorio. | 152 |
| Figura 5.56. Contenido de la carpeta creada para el usuario con identificador “4” dentro del laboratorio “Brazo1” y ficheros subidos a ella. | 152 |
| Figura 5.57. Visualización de informes desde el punto de vista de un administrador. | 153 |

| | |
|---|-----|
| Figura 5.58. Visualización de avisos de actividad desde el punto de vista de un administrador..... | 153 |
| Figura 5.59. Pilares básicos de SiLaRR. | 158 |
| Figura 6.1. Logotipo del proyecto TechnoMuseum. | 164 |
| Figura 6.2. Interfaz de uso del brazo robotizado en el proyecto TechnoMuseum .. | 165 |
| Figura 6.3. Pantalla de acceso al módulo de prácticas del Máster del proyecto RIPLECS. | 166 |
| Figura 6.4. Pantalla de acceso con el archivo program.cpp cargado..... | 167 |
| Figura 6.5. Pantalla de compilación del archivo en pleno proceso de carga..... | 167 |
| Figura 6.6. Pantalla de información sobre compilación..... | 168 |
| Figura 6.7. Uso de SiLaRR para integrar el bípedo Kondo KHR-1HV. | 169 |
| Figura 6.8. Uso de SiLaRR para integrar un robot de ruedas en un sistema de dos cámaras, en primera y en tercera persona. | 170 |
| Figura 6.9. Laboratorio “El color de la luz”, con el LED RGB, el primer módulo no robotizado de SiLaRR. | 172 |
| Figura 6.10. Integración del laboratorio de SiLaRR “El color de la luz” en el entorno de Graasp en Go-Lab..... | 173 |
| Figura 6.11. Integración del laboratorio de SiLaRR del brazo robotizado en el entorno de Graasp en Go-Lab..... | 174 |
| Figura 6.12. Integración del laboratorio de SiLaRR del brazo robotizado en el entorno de Graasp en Go-Lab con barras deslizantes..... | 174 |
| Figura 6.13. Proceso de separación e individualización de servicios para la integración del laboratorio de SiLaRR del brazo robotizado en el entorno de Graasp en Go-Lab..... | 175 |
| Figura 6.14. Integración en Graasp con los servicios del brazo robotizado individualizados..... | 176 |
| Figura 6.15. Archivo wrist.json que gestiona la información del servicio que controla el movimiento de la muñeca del brazo robotizado en el entorno de Graasp en Go-Lab..... | 176 |
| Figura 6.16. Gráfica de análisis de datos de la Tabla 6.1..... | 183 |
| Figura 6.17. Gráfica de análisis de datos de la Tabla 6.2..... | 185 |

| | |
|--|-----|
| Figura 6.18. Gráfica de datos de optimización de uso de la Tabla 6.3..... | 186 |
| Figura 6.19. Percepción de la utilidad de un laboratorio remoto de robótica por parte de los tutores según la Tabla 6.4..... | 190 |
| Figura 6.20. Percepción de la dificultad en el uso de SiLaRR por los tutores según la Tabla 6.5..... | 191 |
| Figura 6.21. Análisis de los conocimientos previos sobre laboratorios remotos según la Tabla 6.6..... | 194 |
| Figura 6.22. Percepción de la dificultad en el uso de SiLaRR y su utilidad por parte de los alumnos según la Tabla 6.7..... | 195 |
| Figura 6.23. Importancia de cada lenguaje de programación en SiLaRR. | 197 |
| Figura 7.1. Home BoeBot (izquierda) y SumoBot (derecha) de Parallax. | 206 |
| Figura 7.2. InsectBot comercializado por DFRobot..... | 206 |
| Figura 7.3. Prototipo de dron para reparto, de la empresa Amazon..... | 207 |

Índice de tablas

| | |
|--|-----|
| Tabla 5.1. Tabla de verdad de puente en H L298..... | 121 |
| Tabla 6.1. Preguntas previas a las pruebas de uso..... | 182 |
| Tabla 6.2. Preguntas derivadas de las pruebas de uso | 183 |
| Tabla 6.3. Valoración final por parte de los usuarios administradores. | 186 |
| Tabla 6.4. Valoración del uso de un laboratorio remoto en clase por parte de los usuarios tutores. | 189 |
| Tabla 6.5. Valoración del uso de SiLaRR por parte de los usuarios tutores. | 191 |
| Tabla 6.6. Conocimientos previos sobre laboratorios remotos por parte de los usuarios alumnos. | 193 |
| Tabla 6.7. Valoración del uso de SiLaRR por parte de los usuarios alumnos..... | 194 |
| Tabla 6.8. Líneas de código totales de SiLaRR..... | 196 |
| Tabla 6.9. Coste por módulo y total de los laboratorios de SiLaRR. | 198 |

Glosario

| | |
|----------|--|
| AJAX | Siglas de “Asynchronous JavaScript and XML”, técnica de desarrollo web para crear aplicaciones interactivas. |
| API | Siglas en inglés de "Application Programming Interface". |
| ASF | Siglas de “Advanced Streaming (System) Format”, formato contenedor digital para <i>streaming</i> , de Microsoft. |
| *.*asx | Siglas de “Advanced Stream Redirector”, formato de archivos de metadatos para almacenar listas de <i>streaming</i> . |
| C | Lenguaje de programación imperativo y estructurado. |
| C++ | Lenguaje de programación multiparadigma y orientado a objetos. |
| CAD | Siglas de “Computer Aided Design” (diseño asistido por ordenador). |
| COM | De la palabra "COMunications". Puerto de comunicaciones original de los IBM PC Compatible Computer. Hoy en día se refiere al puerto RS-232. |
| CPU | Siglas de “Central Processing Unit”, unidad central de procesamiento. |
| *.*css | Lenguaje de programación de hojas de estilo. |
| DIEEC | Siglas del “Departamento de Ingeniería Eléctrica, Electrónica y de Control” de la Escuela Técnica Superior de Ingenieros Industriales de la UNED. |
| DIV3 | Códec de vídeo digital. |
| Ethernet | Estándar de comunicaciones de redes de área local. |
| *.*exe | Formato de archivo ejecutable de código reubicable. |
| FAQ | Siglas de “Frequently Asked Questions” (preguntas frecuentes). |
| FPGA | Siglas de “Field Programmable Gate Array”, es un dispositivo semiconductor que contiene bloques de lógica cuya interconexión y funcionalidad puede ser configurada. |
| *.*flv | Formato de archivo multimedia para Adobe Flash Player. |
| GNU | Siglas en inglés de “GNU is Not Unix”, o GNU No es Unix, y que responde al proyecto iniciado por Richard Stallman con el objetivo de crear un sistema operativo completamente libre. |
| GOLC | Siglas de “Global Online Laboratory Consortium”. |

| | |
|------------|---|
| GPLv3 | Siglas en inglés de “General Public License version 3”, o de la versión 3 de la Licencia Pública General de GNU. |
| HTML | Siglas en inglés de "Hypertext Markup Language", lenguaje de programación para páginas web. |
| HTML5 | Revisión del lenguaje HTML. |
| *.jar | Formato de archivo que permite ejecutar aplicaciones en Java. |
| JavaScript | Lenguaje de programación interpretado y orientado a objetos, del lado del cliente. |
| JSON | Siglas de “JavaScript Object Notation”, es un formato ligero para el intercambio de datos. |
| ICSP | Siglas de “In Circuit Serial Programming”. |
| IEEE | Siglas en inglés de "Institute of Electrical and Electronics Engineers". |
| *.ino | Formato de archivo para entornos Arduino. |
| IP | Etiqueta numérica que identifica, de manera lógica y jerárquica, a una interfaz de un dispositivo dentro de una red que utilice el protocolo de comunicación de Internet de dicho nombre. |
| LabVIEW | Siglas en inglés de "Laboratory Virtual Instrumentation Engineering Workbench". |
| LCD | Siglas en inglés de "Liquid Crystal Display". |
| LED | Siglas en inglés de "Light-Emitting Diode". |
| MatLab | Siglas en inglés de " MATrix LABoratory". |
| MUNCYT | Siglas del “MUseo Nacional de Ciencia Y Tecnología” de España. |
| MP3 | Formato de compresión para audio. |
| *.mp4 | Formato de archivo contenedor multimedia. |
| *.ogg | Formato de archivo contenedor multimedia de código abierto. |
| PC | Siglas de “Personal Computer” (ordenador personal). |
| PHP | Actualmente siglas en inglés de "PHP Hypertext Pre-processor", lenguaje de programación para el lado del servidor. |

| | |
|---------|---|
| RESTful | Sistema que sigue los principios REST (Representational State Transfer), es una técnica de arquitectura software para sistemas hipermedia distribuidos. |
| SICTER | Sistema de Control Telemático para Equipos Robotizados. |
| SiLaRR | Sistema de Integración de Laboratorios Remotos de Robótica. |
| SoC | Siglas de “System on a Chip”. |
| *.*swf | Formato de archivo de gráficos vectoriales de Adobe Systems. |
| UNED | Siglas de la “Universidad Nacional de Educación a Distancia”. |
| USB | Siglas en inglés de "Universal Serial Bus". |
| XML | Siglas en “eXtensible Markup Language” lenguaje utilizado para almacenar datos en forma legible |
| Wi-Fi | Mecanismo de conexión inalámbrica de dispositivos electrónicos. |

Resumen

En una sociedad tecnificada, como la actual, la formación debe aprovechar todas las herramientas a su alcance para extender la educación más allá del aula física o de las fronteras de un laboratorio.

La UNED desde su experiencia siempre ha sido pionera en estas lides y desde el DIEEC uno de los objetivos fundamentales ha sido llevar los laboratorios allí dónde están los alumnos, sin perjuicio de poder utilizarlos también in situ.

Con ese objetivo hace tres años se inició el proyecto de investigación que se desarrolla en las páginas siguientes. La idea de partida establecía la investigación y búsqueda de un sistema que permitiera utilizar un laboratorio, tanto telemáticamente de manera remota, como presencialmente; y de forma particular para este caso e inicialmente, de robótica.

Como paso previo a este proyecto se desarrolló un sistema de modelado que permitiera estudiar el tiempo y esfuerzo necesarios para integrar un equipo robotizado en el entorno de un laboratorio remoto. Como resultado se desarrolló la metodología SICTER. Dicha metodología permite decidir si el esfuerzo y coste necesario para la integración de un equipo robotizado es admisible, o bien es preferible adquirir otro equipo robotizado más fácil de integrar. La metodología SICTER se desarrolló como Trabajo de Fin de Máster (Tesis de Máster) en el “Máster Universitario en Investigación en Ingeniería Eléctrica, Electrónica y Control Industrial” y fue defendida con éxito en octubre de 2012.

Se abordó este trabajo utilizando SICTER, y su filosofía ha desembocado en SiLaRR cuyo nombre responde al Sistema de Integración de Laboratorios Remotos de Robótica, el pilar central de esta investigación. Cuando se aborda la integración de equipos robotizados en laboratorios remotos es necesario tener en cuenta factores de diferentes ámbitos de la ingeniería: comunicaciones, desarrollo de software, desarrollo web, hardware de control, integración de equipos electrónicos, servicios para envío y recogida de datos, bases de datos, gestión de colas de acceso, y muchos otros.

Dado que la filosofía de este proyecto era la de simplificar la instalación y puesta en marcha de los laboratorios remotos de robótica, este trabajo se ha centrado en buscar aquellas alternativas existentes, dentro del software y el hardware libre, e integrarlas en el sistema siempre que ha sido posible, o bien, de desarrollar herramientas específicas utilizando siempre la filosofía de software y hardware libre. Por todo ello SiLaRR es solo una parte del resultado final. Muchos de los desarrollos e innovaciones generadas durante el proceso podrían constituir por sí mismos nuevos retos para su investigación de una manera más exhaustiva.

En ese sentido se ha optado por la licencia GPLv3 para el desarrollo de este proyecto, permitiendo así su divulgación y su uso como herramienta de partida para nuevas innovaciones.

La citada sencillez en la instalación de laboratorios de robótica surge del afán de diseminar el conocimiento no sólo desde el ámbito académico universitario, sino a través de escuelas, empresas o incluso desde los propios particulares que tienen como

afición la robótica. No todas las personas implicadas en la educación tienen conocimientos de electrónica, desarrollo web, comunicaciones, pero la mayoría sí tienen conocimientos de robótica y muchas quieren ayudar a otros a adquirir dichos conocimientos en tiempo real utilizando sus equipos robotizados mediante la puesta a disposición de los mismos como laboratorios. Pero al mismo tiempo el equipo robotizado debe de conservar su capacidad y funcionalidad para ser usado en un laboratorio presencial si fuera necesario.

Para ello, con SiLaRR, la intrusión en los sistemas del equipo robotizado se ha reducido al máximo. Con esa idea en mente se ha desarrollado este proyecto. Siempre que ha sido posible las interacciones con el equipo robotizado se han realizado utilizando hardware intermedio de bajo coste o directamente vía software. Eficiencia, reutilización, versatilidad y escalabilidad han sido las líneas maestras de todo este proceso.

Los resultados han demostrado que la utilidad de este trabajo no tiene por qué quedarse solo supeditada al campo de la robótica y en las secciones pertinentes se explica y demuestra su utilidad para laboratorios que nada tienen que ver con la robótica. La generalización se ha mostrado como una faceta más de este sistema.

La utilidad práctica ha quedado demostrada desde el primer momento en el uso de las implementaciones iniciales de este proyecto para el propio DIEEC y su Máster internacional del proyecto RIPLECS, el proyecto TechnoMuseum en colaboración con la Universidad de Zaragoza y el Museo Nacional de Ciencia y Tecnología (MUNCYT), el proyecto Go-Lab de la red europea 7th Framework, entre otros, y su uso como herramienta por otros Trabajos de Fin de Máster, Doctorados y Proyectos Fin de Carrera del citado departamento.

Una vez más la UNED actúa como plataforma impulsora de una educación sin barreras y apoyando esta investigación ha ayudado a expandir los conocimientos sobre robótica utilizando laboratorios remotos en tiempo real desde cualquier parte del mundo con una simple conexión a internet y un terminal conectado, desde un *Smartphone* a un PC.

Palabras clave: sistema, laboratorio remoto de robótica, automatización, Internet de las cosas, redes, comunicaciones, hardware libre, sistema híbrido, computación en red, servicios web, servicios en la nube, gestión, modularidad, versatilidad, escalabilidad, control, robot, equipo robotizado, remoto, laboratorio.

Summary

In a technological society, as the current, training should use all the tools at its disposal to extend education beyond the physical classroom or the borders of a laboratory.

The UNED from its experience has always been a pioneer in these area and from the DIEEC one of the main goals has been to bring the laboratories where the students are, without prejudice to also use them in situ.

With that goal, three years ago, the research project in the following pages began. The idea of departure finding established a system to use a laboratory; in this case; and initially; about robotics; both remotely, as in person.

As a preliminary step to this project was developed a modelling study to study the time and effort required to integrate a robotic computer on a remote laboratory environment. As a result the SICTER methodology was developed. This methodology allows to decide if the effort and cost required for the integration of a robotic equipment is admissible, or if it is preferable to acquire another robotic equipment easier to integrate. The SICTER methodology was developed as a Thesis Master in the "Master on Research in Electrical, Electronics and Industrial Control" and was successfully defended in October 2012.

This paper addressed using SICTER, and its philosophy has led into SiLaRR or, in English, System to Integration of Remote Laboratories of Robotics, the central pillar of this research. When integration of robotic equipment in remote laboratories is approached, is necessary to consider various factors of several engineering fields: communications, software development, web development, hardware control, integration of electronic equipment, send and get services for data, databases, queue management access, and many others.

Since the philosophy of this project was to simplify the installation and put into operation of remote robotic laboratories, this work has focused on finding those alternatives within the free software and hardware, and integrated them into the system whenever it has been possible, or, to develop specific tools using the philosophy of free software and hardware. Therefore SiLaRR is only a part of the final result. Many developments and innovations generated in the process could provide for themselves new challenges for research in a more comprehensive manner.

In this sense it was decided by the GPLv3 license for the development of this project, allowing disclosure and use it as a starting tool for new innovations.

The above simple installation of robotics laboratories comes from zeal to disseminate knowledge not only from an academic level, but through schools, businesses or even from individuals themselves whose hobby is robotics. Not everyone involved in education have knowledge about electronics, web development, communications, but most of they have knowledge about robotics and many want to help others to acquire such skills in real time using their robotic equipment through the provision of them as laboratories. But while the robot equipment must maintain its capacity and functionality for use in a classroom laboratory if necessary.

To do this, with SiLaRR, intrusion into the systems of the robotic equipment has been reduced to the maximum. With that idea in mind it has developed this project. Always that has been possible, the interactions with the robotic equipment have been made using low cost hardware intermediate directly, or via software. Efficiency, reuse, flexibility and scalability have been the main features of this process.

The results have shown that the value of this work does not have to be only subject to the field of robotics and on respective sections explain and demonstrate its utility for laboratories that have nothing to do with robotics. Generalization is shown as another facet of this system.

The practical utility has been demonstrated for the first time using the initial implementations of this project for: the own DIEEC International Master of RIPLECS project, TechnoMuseum project in collaboration with the University of Zaragoza and the National Museum of Science and Technology of Spain (MUNCYT), or the Go-Lab project of the 7th Framework European network, among others, and its use as a tool for other Master thesis, Grade thesis and Doctoral thesis of that department.

Again, UNED acts as a driving platform of an education without barriers and supporting this research has helped to expand the knowledge using remote laboratories of robotics on real-time from anywhere in the world with a simple Internet connection and a connected terminal from a smartphone to a PC.

Keywords: *system, remote laboratory of robotics, automation, Internet of things, networking, communications, free hardware, hybrid system, grid computing, web services, cloud services, management, modularity, versatility, scalability, control, robot, robotic equipment, remote laboratory.*

*“Anyone who stops learning is old, whether at twenty or eighty.
Anyone who keeps learning stays young.”*

*[Aquel que deja de aprender se hace viejo, ya sea a los veinte o a los ochenta.
Aquel que sigue aprendiendo se mantiene joven.]*

— Henry Ford

Prefacio

Esta tesis doctoral comenzó a fraguarse en 2011. Si bien; al igual que mi afición por la criptografía; mi pasión por la robótica siempre ha sido una constante en mi vida, fue cuando cursaba el Máster Universitario en Investigación en Ingeniería Eléctrica, Electrónica y Control Industrial, cuando realmente empecé a analizar y buscar posibles soluciones para facilitar la integración de robots o equipos robotizados en un sistema unificado fácil de usar y transparente para el usuario.

Para ello, previamente, era necesario conocer el hardware y los sistemas de comunicaciones de los múltiples equipos robotizados existentes. Dado que ni el tiempo ni el presupuesto permitían esa tarea, diseñé un sistema que buscaba evaluar la eficiencia de integrar o no un determinado equipo robotizado en una red de comunicaciones concreta. De esa manera con un estudio relativamente completo de dicho equipo robotizado se podría decidir, o no, acometer posteriormente una integración más amplia en un determinado entorno. Ese sistema se denominó SICTER.

Sin ese desarrollo previo nunca hubiera sabido realmente hasta qué punto llegaba la complejidad del proceso de integración de equipos robotizados en un entorno dado, ya fuera este de trabajo, educativo o lúdico. Con SICTER conocí mis limitaciones formativas, lo que me permitió potenciar el estudio de diferentes áreas de trabajo en las que antes apenas había profundizado.

Para formarme y aprender aquellas materias que necesitaba, durante los años que ha durado el desarrollo e implementación de mi tesis doctoral, he disfrutado de la experiencia de participar, en congresos nacionales e internacionales, conocer a personas que me han dirigido cuando me he encontrado en algún callejón sin salida o me han animado a investigar nuevas líneas de trabajo, o motivado para seguir adelante. Entre esos eventos se encuentran:

- ✓ TAEE: Congreso sobre Tecnologías Aplicadas a la Enseñanza de la Electrónica. Patrocinado por el IEEE.
- ✓ EDUCON: IEEE Global Engineering Education Conference. Patrocinado por el IEEE.
- ✓ ICL: International Conference on Interactive Collaborative Learning. Patrocinado por el IEEE.
- ✓ FIE; Frontiers in Education Conference (FIE). Patrocinado por el IEEE.
- ✓ IDEE: Interaction Design in Educational Environments.

He participado, también, como revisor de publicaciones, en el EDUCON, el FIE o el ICL. Todos ellos fuente inagotable de contactos que bajo mi punto de vista son la parte fundamental del trabajo de un investigador ya que facilitan el conocer las últimas innovaciones en el estado del arte de la tecnología.

He tenido la oportunidad de participar en publicaciones, nacionales e internacionales con los avances que iba desarrollando en mi investigación. En especial

en la IEEE Technology and Society Magazine (IEEE TECHNOL SOC MAG), ISSN 0278-0097, en el 2012, con el artículo *Robotics, the New Industrial Revolution* que forma parte de la investigación de este doctorado.

He tenido la oportunidad de participar en proyectos nacionales e internacionales vinculados a mi investigación, entre los que se encuentran:

- ✓ Techno-Museum: Discovering the ICTs for Humanity (IEEE Foundation Grant #2011-118LMF)
- ✓ Go-Lab Global Online Science Labs for Inquiry Learning at School FP7-ICT-2011-8 - Project number 317601.
- ✓ RIPLECS - Remote-labs access in Internet-based Performance-centred Learning Environment for Curriculum Support - 517836-LLP-1-2011-1-ES-ERASMUS-ESMO.
- ✓ e-Madrid Investigación y Desarrollo de Tecnologías para el E-Learning en la Comunidad de Madrid S2009/TIC-1650.
- ✓ MUREE: MUREE Modernising Undergraduate Renewable Energy Education: EU Experience for Jordan, del Programa TEMPUS de la Unión Europea.

Por último la satisfacción para cualquier investigador pasa por que su sistema o desarrollo se utilice; algo que en este caso ha ocurrido antes incluso de haber terminado el desarrollo completo; y que de alguna forma se valore el trabajo realizado.

El premio al *Best Student Paper Award* recibido en el EDUCON de Marrakech en 2012 por el artículo *Flexibility of wireless technologies in learning in robotic laboratories*; que también forma parte de esta investigación; fue un estímulo para continuar mi trabajo e involucrarme al máximo en dicha tarea.

Con todo ello SiLaRR fue tomando forma, primero de una manera más teórica; analizando desarrollos ya existentes, sistemas comerciales que buscaran cubrir de alguna forma esa tarea con mayor o menor éxito; y luego más práctica, aprendiendo de otros sistemas de integración singulares diseñados para equipos robotizados concretos, extrayendo toda aquella información necesaria para ir trasladando esa idea teórica a la realidad. Todo el itinerario, investigación y el desarrollo hasta llegar al resultado final, se desgrana, explica y analiza en esta tesis doctoral.

El objetivo prioritario de facilitar al usuario la integración de equipos robotizados, sus laboratorios, y la gestión de los mimos para desplegarlos en Internet, usarlos remotamente, y permitir que otros usuarios disfruten de ellos y los utilicen como herramienta educativa, se ha visto materializado en la versión 1.0 de SiLaRR.

La tecnología permitirá en un futuro a corto plazo continuar mejorando SiLaRR, incluyendo en él nuevas funcionalidades, integrando nuevos equipos robotizados, y acercando un poco más al usuario a los robots que han dejado de ser algo que solo podíamos encontrar en la ciencia ficción, para formar parte de nuestras vidas y acompañarnos en nuestra propia evolución.

*“Any sufficiently advanced technology
is indistinguishable from magic.”*

*[Cualquier tecnología lo suficientemente avanzada
es indistinguible de la magia.]*

— *Arthur C. Clarke, Profiles of the Future:
An Inquiry Into the Limits of the Possible*

Capítulo

1

1. Introducción

Las herramientas educativas destinadas a la práctica son fundamentales cuando hablamos de ingeniería, electrónica, física o química. Estas ciencias requieren en muchas ocasiones de confirmaciones reales de las teorías estudiadas. Para ello se desarrollan laboratorios que permitan, a los alumnos de estas disciplinas, comprobar en la realidad lo aprendido en la teoría, [1].

Cuando pasamos del nivel académico al nivel empresarial la formación adquiere si cabe una mayor importancia en lo que a términos de eficiencia o rentabilidad respecta. Un operario que no sea capaz de utilizar correctamente un equipo industrial puede suponer elevadas pérdidas para la empresa que lo contrata tanto por daños materiales como por retrasos en la producción, el valor de la información y el conocimiento en el mundo empresarial tiene un precio cierto, [2], pero cuando se habla de tecnología la eficiencia pasa a un primer plano, [3].

Si el ámbito de actuación es el de los servicios de seguridad y asistenciales (ejército, policía, bomberos, médicos) la experiencia previa adquiere una relevancia que roza la diferencia entre la vida y la muerte de uno o varios individuos, [4].

La práctica, por ello, es esencial. Tradicionalmente las prácticas se realizaban con los medios al alcance en cada momento, pero la tecnificación de la sociedad, Internet, los sistemas de comunicaciones y el desarrollo de la electrónica de bajo coste ha permitido generalizar la instalación de laboratorios que permiten acercar al estudiante a la realidad a la que deberá enfrentarse en cada caso.

Si bien los laboratorios son variados, este trabajo se centrará en los laboratorios de robótica. Su uso es extensible a todos los ámbitos expuestos anteriormente, y la generalización de la robótica y la entrada de equipos robotizados en nuestras casas, con robots de limpieza como el iRobot de Roomba, [5], o con robots domésticos de compañía o terapéuticos como Paro, [6], hacen que, en la sociedad occidental adoptemos como algo normal interactuar con ellos, [7], incluso sin saberlo; como en el caso de las aplicaciones de *Smartphone* que sirven como asistente virtual, [8].

Es esencial una buena comprensión de las tecnologías que nos rodean para utilizar estas de una manera productiva y eficiente, y no convertirnos en esclavos de sus

servicios y ventajas. Un adecuado conocimiento de los equipos robotizados reducirá los conflictos sindicales, [9], ayudará a formar a los nuevos ingenieros, [10], y permitirá sacar el mayor partido a éstos en cada momento y situación en el que sean necesarios.

A lo largo de este capítulo enunciaremos la relación entre los laboratorios remotos y la robótica, la razón de los mismos, así como las opciones y motivación de éstos. A continuación se citarán los aspectos innovadores que aporta esta tesis doctoral y el porqué de su necesidad, para finalmente exponer las etapas que han llevado a alcanzar los resultados obtenidos en la misma. Todo ello se analizará extensamente a lo largo de los respectivos capítulos de la investigación.

1.1. Laboratorios remotos y robótica

La robótica es una disciplina que engloba conocimientos de muchas áreas de la ingeniería, [11], la electrónica, la programación, la comunicación, y de otras disciplinas, la industria, la formación, y ciencias sociales, la psicología, el mercado. En definitiva es un área multidisciplinar, en la que la práctica juega un papel fundamental.

Durante el proceso de fabricación, construcción o ensamblaje de un equipo robotizado, hay muchos factores que deben tenerse en cuenta más allá de los cálculos teóricos, pero una vez construido, en lo que respecta a su uso y funcionamiento nos encontramos con otros tantos factores que pueden afectar a su correcto funcionamiento.

Para un uso adecuado de un equipo robotizado es necesario un buen entrenamiento o formación del operario que lo tiene que controlar. Ese entrenamiento, habitualmente, es de tres formas: mediante la simulación, mediante la práctica real o una combinación de ambas. Las describiremos a continuación.

- ✓ *Simulación*: consiste en utilizar un modelo, normalmente virtualizado, de un equipo robotizado que actúa, en teoría, en un entorno gráfico de la manera como lo haría en la realidad.

Equipos de control de robot por simulación pueden encontrarse en muchas industrias dedicadas a la fabricación de equipos robotizados, y también existe software con las especificaciones precargadas de robots comerciales que pueden usarse en el propio ordenador personal, [12]. Las ventajas de este sistema es que una simulación ahorra costes (no requiere comprar un equipo robotizado y éste no se desgasta con el uso), accidentes (si hay un problema durante la simulación se puede apagar el software o el simulador y volver a encenderlo de nuevo sin riesgo), y facilita la impartición de clases a un gran número de alumnos, [13]. El mayor problema que supone este sistema es que no siempre los equipos robotizados se comportan idealmente en la vida real, y hay un factor que es muy difícil de simular, y que puede llegar a ser impredecible, como es el comportamiento humano.

- ✓ *Práctica real*: la mejor forma de aprender a conducir es conduciendo, la mejor manera de aprender un idioma es hablándolo, y la mejor manera de aprender a controlar un equipo robotizado es usándolo. Bajo esa filosofía social la práctica real emplea equipos robotizados idénticos o muy parecidos a los que el

trabajador deberá emplear en su empresa, para que éste se familiarice con ellos y sepa en todo momento como actúan.

Los problemas que genera este sistema son los posibles accidentes (por el uso de un equipo real), el mayor coste (ya que se requiere comprar o alquilar el equipo robotizado), el menor número de alumnos por equipo robotizado, y los costes de reparación o mantenimiento del equipo robotizado. La ventaja es, fundamentalmente, que el estudiante aprende con un equipo real que se comportará igual que en su centro de trabajo, con sus limitaciones y sus posibilidades de uso.

Buscando aunar lo mejor de las dos formas de entrenamiento también es habitual encontrar mecanismos combinados que utilizan laboratorios remotos y virtuales, [14], para la formación buscando la tercera vía citada. No obstante desde hace ya algunos años se viene desarrollando el uso de equipos robotizados en laboratorios remotos, [15]. Estos laboratorios remotos de robótica permiten utilizar un equipo robotizado real en un entorno libre de riesgos y por muchos estudiantes, de manera remota, con un ordenador y una conexión a Internet.

Si bien continúan existiendo problemas a los que el diseñador de un laboratorio debe enfrentarse, qué equipo robotizado puede ser más versátil para usarlo en diferentes materias, cómo debe realizarse la gestión de colas de acceso al sistema para permitir el uso del laboratorio al mayor número de usuarios, o dónde debe situarse el equipo robotizado y bajo qué condiciones de seguridad para evitar accidentes en su zona de actuación, dichos problemas son económicamente accesibles y el beneficio que genera el uso de esta herramienta en el aprendizaje, tanto a nivel académico como industrial o empresarial, se ven compensados hasta el punto de afectar al resto del tejido económico y social, [16].

Es por todo ello que cada vez más, las universidades desarrollan y ponen en marcha proyectos que permiten acercar a los alumnos de ingeniería, y en concreto a aquellos en asignaturas de robótica, a este tipo de laboratorios. Dado el carácter “a distancia” de la UNED y el uso intensivo que esta universidad lleva realizando de las tecnologías de comunicación desde sus inicios, es evidente que también ella ha trabajado en esta tarea, mejorando cada vez más la posibilidad de acceso de sus alumnos a laboratorios remotos.

1.2. Innovaciones que aporta este trabajo

Uno de los puntos clave, a la hora de desarrollar un laboratorio remoto de robótica es precisamente quién o quiénes lo van a desarrollar. Ya se han citado las diferentes disciplinas que toca la robótica, y debido a ello es difícil encontrar a una única persona que pueda encargarse de todas ellas a la hora de implementar un laboratorio.

Asimismo, es necesario comprar un equipo robotizado, o bien construir uno para ser utilizado a tal efecto, algo que no está al alcance de todas las instituciones educativas. Por estas razones ha sido habitual encontrarse con que son las universidades, o las propias empresas, las que, utilizando sus recursos en capital humano y financiación, suelen implementar este tipo de laboratorios, [17].

Esas limitaciones han derivado en que el número de laboratorios de robótica esté restringido a ámbitos académicos o empresariales muy concretos y no se hayan generalizado libremente tanto como sería deseable, [18].

Las aportaciones desarrolladas y puestas en práctica durante el proceso de investigación que ha dado lugar a esta tesis doctoral han generado diferentes innovaciones frente a la concepción del laboratorio remoto de robótica tradicional, y la consecuencia de ello es que se han superado esas limitaciones y se ha conseguido generalizar el despliegue de laboratorios remotos de robótica a un bajo coste. Más concretamente durante este trabajo se han realizado las siguientes aportaciones:

- Desarrollo de una API de Gestión Inteligente (AGI): dicha AGI integra de manera óptima hardware y software facilitando así la comunicación entre el servidor y el equipo robotizado y actuando como un único dispositivo inteligente.
- Integración en un único sistema de la gestión de bases de datos, gestión de colas, software y servicio web mediante el empleo de la tecnología web actual para reducir a la mínima expresión la necesidad de codificación de cara a la implementación de los servicios web del laboratorio.
- Despliegue de ambas tecnologías desde un sistema de instalación interactivo amigable con el usuario final, utilizando una suite o paquete de instalación completo que actúa como una caja negra, [19], para el usuario en el que éste solo necesita saber qué tipo de laboratorio quiere instalar y cómo funciona su laboratorio, olvidándose del proceso de configuración que se automatiza cómodamente.
- Desarrollo de un mecanismo “Plug and Play” que permite utilizar el mismo equipo robotizado vía remota desde Internet y; una vez desconectado; en prácticas reales presenciales, sin afectar a su estructura o a su hardware.

Todo ello utilizando hardware y software libre y el sistema SICTER de análisis de integración de equipos robotizados, [20], reduciendo así el coste y permitiendo la instalación y puesta a disposición de laboratorios a través de Internet por parte de colegios o particulares aficionados a la robótica, con una muy baja inversión económica.

El trabajo de un ingeniero es darle un uso eficiente a herramientas existentes que están siendo infrautilizadas, creando nuevas herramientas con una mayor utilidad, y siguiendo esa premisa, y uniendo a ella la idea de minimizar el coste y maximizar la eficiencia se ha recurrido a hardware libre suficientemente probado y a software libre con años de funcionamiento demostrado.

El resultado ha sido una suite de instalación y configuración que permite instalar un laboratorio remoto de robótica y a partir de él desarrollar nuevos laboratorios y aplicaciones, para cada uno de ellos, de manera modular y versátil permitiendo la adaptación de cada laboratorio al equipo robotizado que se quiere utilizar. Todo ello interfiriendo lo menos posible en el equipo robotizado para permitir que, si se desea utilizar el mismo equipo en sesiones prácticas reales presenciales, en lugar de vía remota, se pueda hacer sin ningún problema.

Este sistema completo de instalación, integración, comunicación y gestión recibe el nombre de SiLaRR: Sistema de integración de Laboratorios Remotos de Robótica.

1.3. Organización de este trabajo

Inicialmente el trabajo expone los agradecimientos del autor a aquellas personas o instituciones que han hecho de esta experiencia investigadora un camino de descubrimientos y la consecución de un sueño: desarrollar una herramienta útil para otras personas.

A continuación se muestra el índice de figuras y el de tablas relacionadas en el trabajo. El glosario ayudará a entender algunas de las abreviaturas y conceptos expuestos en este trabajo.

Un resumen en castellano e inglés condensa la motivación y razones de esta investigación, y un prefacio explica de una manera personal el itinerario recorrido.

A lo largo de este Capítulo 1, introductorio, se han expuesto, en líneas generales, la necesidad y la importancia de los laboratorios remotos de robótica y las aportaciones innovadoras que ha supuesto la investigación llevada a cabo para esta tesis doctoral.

A lo largo de los siguientes capítulos se profundiza en dichos conceptos empezando, en el Capítulo 2, con una exhaustiva descripción del estado del arte, la evolución histórica y el porqué de los laboratorios remotos como herramienta de aprendizaje, que nos permitirá entender su uso en robótica. Todo ello como presentación de un análisis posterior de la simulación en el uso de dichos laboratorios, y el hardware y software comercial y académico existente en la actualidad, analizando sus ventajas e inconvenientes.

A continuación, en el Capítulo 3, se realiza un análisis del nuevo escenario en el que nos estamos desarrollando desde principios del siglo XXI y de la importancia que tienen la modularidad y escalabilidad en el desarrollo de sistemas eficientes y económicos. Eso conduce a exponer la necesidad de integración de los equipos robotizados y utilizar planteamientos derivados de las economías de escala basados en la reutilización y en el ahorro de costes, algo que la crisis financiera internacional de los últimos años ha llevado a acentuar.

Todo ello pone al alcance de la mano las últimas tecnologías de software y hardware, muchas de ellas a coste cero, que abren las puertas a la divulgación, el aprendizaje y la universalización del conocimiento en tiempo real, como nunca antes ha ocurrido.

Con las razones analizadas, el entorno mostrado y las opciones expuestas, el Capítulo 4 entra directamente en el desarrollo de investigación propiamente dicho y muestra paso a paso los avances, problemas, descubrimientos, herramientas, sistemas de comunicaciones, software, hardware, emisión de vídeo en *streaming*, y mecanismos de integración que han culminado con el desarrollo de SiLaRR.

Dado que el recorrido ha sido arduo, no solo se muestra el resultado final, sino los pasos que han conducido a él y las alternativas que pueden llevar a generar resultados similares utilizando herramientas diferentes. Todo ello con el objetivo fijado en desplegar un sistema lo más flexible y versátil posible en cada caso. Dicha versatilidad se demuestra saltando del mundo de la robótica al de los laboratorios generalistas. En este capítulo se expone el uso de este sistema en un laboratorio compuesto por un LED RGB y de título “El color de la luz”, diseñado para sesiones escolares sobre la percepción, la luz y los colores del espectro.

Como complemento al capítulo anterior, en el Capítulo 5 se describe la implementación y el desarrollo del sistema. Se analiza este desde el lado del servidor, parte importante de la AGI desarrollada, y desde el lado del cliente, donde se muestra el acceso al sistema de manera transparente para el usuario, que solo necesita un navegador y un acceso a Internet para poder aprovechar los beneficios del sistema. Se hace hincapié en los aspectos de modularidad e integración y se puntualiza la importancia que SICTER ha tenido en el desarrollo de SiLaRR. Todo ello ofrecerá una idea de las diferentes tecnologías que se han utilizado para el desarrollo de esta investigación, y que juntas han posibilitado los pertinentes resultados.

Pero la teoría no deja de ser solo una buena prosa salvo que se lleve a la práctica, y es precisamente en el Capítulo 6 dónde se recogen los resultados prácticos del uso del sistema. Dado que la investigación se inició en el año 2011, el sistema, o parte del mismo, se ha podido probar en proyectos internacionales relacionados con la divulgación científica (TechnoMuseum), la educación (Go-Lab), el ámbito académico (Máster internacional del proyecto RIPLECS), así como en Trabajos de Fin de Máster. Y podrá continuar siendo útil, y aumentando su funcionalidad, en Proyectos de Fin de Carrera o Doctorados del DIEEC que se relacionan. Pero es importante señalar su utilización por parte de entornos generalistas. En especial su uso en colegios. Como muestra de dicho uso se realiza un análisis de la utilización del sistema por parte de administradores, profesores y alumnos de colegio y se exponen, estudian y analizan las respuestas a dicha experiencia.

Llegados a este punto ya solo queda exponer las conclusiones, apuntadas previamente a lo largo de los puntos anteriores, y las líneas de investigación futuras. Es el Capítulo 7 el que se encarga de abrir un amplio abanico de posibilidades aprovechando la modularidad (desarrollo de nuevos módulos de laboratorios), la creación de un repositorio de laboratorios aprovechando el concepto de los laboratorios en anillo, y la posibilidad de extender este sistema en colegios, centros educativos y empresas para que desarrollen sus propios laboratorios y no solo los usen. El sistema puede utilizarse para el desarrollo de nuevos Trabajos de Fin de Máster, Proyectos de Fin de Carrera o Doctorados. Asimismo, los adecuados ajustes en los sistemas de comunicaciones utilizados pueden aumentar aún más el tipo de laboratorios a integrar.

La posibilidad de crear redes o anillos de laboratorios en el ámbito, escolar, académico, industrial, empresarial, y aprovechar esta tecnología para la medicina, y la defensa, o entornos donde se utilizan robots de alta precisión, entre otros ámbitos, se reduce a instalar el sistema y conectarlo de manera estructurada ofreciéndolo a través de un mercado, o *marketplace*, de laboratorios, o diseñando instalaciones personalizadas para cada caso. Como se ha indicado, algunas de estas opciones de mejora ya están en

marcha. Las posibilidades son amplias, solo hay que empezar a trabajar en ellas para desarrollarlas.

El Capítulo 8 condensa en forma de referencias bibliográficas utilizadas para sustentar, descubrir, analizar, entender, aprender y criticar, todos aquellos materiales recogidos y utilizados durante la investigación para esta tesis doctoral.

El Capítulo 9 ofrece el currículum del autor. El Anexo 1 describe el contenido del DVD que se incluye con la presente tesis doctoral, el Anexo 2 incluye el código fuente del sistema SiLaRR y, por último, el Anexo 3 muestra algunos de los méritos y publicaciones destacables obtenidos durante la investigación.

Una vez expuesta la organización de esta tesis doctoral se está en disposición de iniciar el recorrido por el proceso de investigación que ha motivado su desarrollo y ha llevado a la consecución de sus resultados condensados en SiLaRR.

*“There are two kinds of fools. One says, “This is old, and therefore good.”
And one says, “This is new, and therefore better.”*

*[Hay dos clases de tontos. Uno dice, “Esto es antiguo y por lo tanto es bueno”.
Y el otro dice, “Esto es nuevo, y por lo tanto es mejor”.]*

— John Brunner, The Shockwave Rider

Capítulo

2

2. Laboratorios remotos de robótica: Situación actual

Como se ha indicado en el capítulo anterior, los laboratorios remotos, y en concreto los de robótica tienen ya una historia importante a sus espaldas. Si bien se reparten fundamentalmente entre la industria y el mundo académico, en el que destacan los relacionados con el campo de la ingeniería eléctrica o la electrónica, como el proyecto *Remote Didactic Laboratory “G. Savastano”* en el que se implicaron 20 universidades italianas, [21], [22], o algunos algo más generalistas que combinan laboratorios para el entorno universitario con los dirigidos a otros niveles formativos y combinados con aplicaciones para dispositivos móviles, como el llevado a cabo por la universidad de Deusto, [23]. Se realizará un breve recorrido por la historia y los diferentes modelos de laboratorios más utilizados.

2.1. Evolución histórica

Como en cualquier otra rama de la ingeniería tradicional, los laboratorios de robótica presenciales forman parte del estudio y desarrollo de la citada disciplina. Sin necesidad de retroceder a los desarrollos previos de Leonardo Da Vinci con su caballero mecánico (Figura 2.1) reconstruido en 2002 por Mark Rosheim siguiendo los bocetos originales del propio Leonardo, [24], y centrándonos en la historia cercana, ya en el siglo XX destacan, inicialmente a nivel industrial, el uso de laboratorios no solo para desarrollar los equipos robotizados sino para probarlos y aprender a controlarlos.



Figura 2.1. Caballero mecánico de Leonardo Da Vinci, reconstruido por Mark Rosheim en 2002. Museo de Leonardo en Florencia.

Se pueden citar, como muestra, atendiendo a los años correlativamente, [25]:

- ✓ El laboratorio ARGONNE que en 1950, desarrolla manipuladores *master-slave* para manipular material radioactivo.
- ✓ Los laboratorios de la Universidad de Stanford y del MIT que, en 1970, consiguen controlar un robot de manera remota mediante un ordenador.
- ✓ En 1976 la empresa Charles Stark Draper Labs prueba en sus laboratorios un dispositivo del tipo *Remote Center Compliance* (RCC), [26], para la inserción de piezas en una línea de montaje, [27].

Pero es a partir de 1980, cuando gracias al desarrollo y generalización del microprocesador unos años antes, desde 1971 con el Intel 4004, [28]; básico para reducir el tamaño de cualquier equipo robotizado; cuando se produce el impulso clave en la investigación, por parte de las empresas fabricantes de robots, empresas auxiliares y diversos departamentos de universidades de todo el mundo, sobre la informática aplicada y experimentación de los sensores, que, perfeccionándose cada vez más, potencian la configuración de los equipos robotizados capaces de adaptarse al entorno que los rodea y tomar decisiones en tiempo real, en cada situación.

Actualmente noticias como la emitida por la Agencia Rusa de Información (RIA) Novosti indicando que el gobierno ruso pondría en marcha un laboratorio de robots para el combate, [29], muestra hasta qué punto los laboratorios de robótica han ido extendiéndose en todas las áreas, incluida la militar.

En disciplinas tan aparentemente alejadas entre sí como las ya citadas y la medicina, la rehabilitación, el uso de miembros artificiales robotizados, asistencia a niños, [30], y ancianos, [31], cursos para el aprendizaje en el control de robots domésticos, entre otras, es habitual encontrarnos con el uso de robots y prácticas de entrenamiento con seres humanos que, utilizan los mismos de manera lúdica, como parte de su trabajo, o por simple curiosidad y ganas de aprender.

Es en este último camino en el que cada vez podemos encontrar más centros educativos, universidades e instituciones que se interesan por incluir a los equipos robotizados, y laboratorios de prueba con éstos, en sus diferentes asignaturas y disciplinas académicas. Si bien, gracias a un proceso de divulgación masivo en internet, a través de foros, y la sucesión de múltiples publicaciones que facilitan la comprensión de los procesos de la electrónica y la robótica como las de Maker Media, Inc., [32] cada vez más personas se animan a iniciar este camino en el que los estudiantes se acaban convirtiendo en maestros y pueden divulgar su experiencia y consejos a través de Internet mediante canales dedicados como los de YouTube, [33].

No obstante la puesta en marcha de un laboratorio con equipos robotizados, y accesible a los estudiantes de una manera fácil y cómoda, a bajo coste, todavía es una asignatura pendiente para muchas empresas, centros e instituciones educativas.

2.2. Laboratorios remotos

Como se ha citado los laboratorios presenciales se han utilizado habitualmente, pero es cuando las tecnologías de la información se asientan en los hogares de los países occidentales cuando se inicia un planteamiento claro que busca trasladar al estudiante, desde el punto de vista académico, las prácticas de laboratorio a su domicilio. Hasta tal punto se ha considerado esto importante desde el punto de vista educativo que existe un consorcio internacional, el GOLC, [34], cuya misión es precisamente promover el desarrollo y compartir laboratorios remotos de carácter educativo a nivel mundial.

Desde la propia UNED; al igual que desde otras universidades; se lleva trabajando en esta línea desde hace muchos años, y en concreto en el Portal de Tecnologías Educativas del DIEEC, existen, a disposición de los alumnos, numerosos laboratorios remotos para trasladar a la práctica la teoría aprendida durante el curso, [34].

Asimismo los estudios realizados sobre la utilidad de laboratorios remotos, tanto virtuales, como reales o remotos, propiamente dichos han demostrado su efectividad sobradamente a la hora facilitar la adquisición y comprensión de conocimientos por parte de los estudiantes que los utilizan, [36], [37], incluso en áreas como la física de terremotos, [38], y en general para enseñanzas técnicas y científicas, [39].

Dada la importancia de los laboratorios remotos en general y sobre todo en la educación y formación, utilizarlos en la enseñanza y comprensión de la robótica es un paso más en la expansión del conocimiento sobre equipos robotizados. Un mayor conocimiento en este sentido facilitará la integración de dichos equipos y un uso y aprovechamiento correcto de los mismos.

2.3. La robótica y su integración en entornos educativos e industriales

La importancia de la robótica en la educación, en terapias sociales, [40], en combinación con adultos y niños, [41], incluso en etapas muy tempranas de la vida de un individuo, [42], ha sido debidamente estudiada. En niños o adolescentes cuando hablamos de edades comprendidas entre los 6 y los 16 años, [43], se puede apreciar que un conocimiento de los equipos robotizados promueve reacciones basadas en la comprensión, la atención, y la comunicación con los citados equipos.

Este efecto es aún más importante cuando los estudios se realizan con niños discapacitados o con autismo. En lo referente a la discapacidad física los estudios demuestran un mayor incremento en la movilidad y un aumento de la autoestima cuando se utilizan robots como equipos complementarios de rehabilitación, [44]. En el caso del autismo los estudios hacen hincapié en el aumento en la atención de los niños, [45], y la importancia que eso tiene en su desarrollo cognitivo y emocional, [46], [47].

Dado que los niños entienden un equipo robotizado como si de un compañero de juego se tratase, es importante aprovechar esta actitud para potenciar el acercamiento a la tecnología desde la infancia. Algo que en una sociedad tan tecnificada como la actual repercutirá positivamente a corto y largo plazo.

Cuando extendemos este modelo al ámbito académico, preuniversitario o universitario, [48], y ponemos en marcha laboratorios de robótica, estos se convierten en una herramienta de apoyo muy útil para complementar la teoría aprendida, [49].

En carreras técnicas como ingeniería la robótica no solo forma parte de muchos temarios académicos, sino que es muy habitual que el alumno tenga que enfrentarse; una vez termine su formación; a algún equipo robotizado o a alguna de las materias que están vinculadas a su funcionamiento.

Es tradicional encontrar, en las universidades, Departamentos dedicados al desarrollo de sistemas robotizados; sobre todo en ingeniería industrial o informática. Estos pueden desarrollar laboratorios de robótica destinados a cubrir las materias teóricas impartidas o a realizar prácticas vinculadas a determinados temarios relacionados con dicha disciplina. Desde la UNED se han utilizado estos laboratorios como complemento en variadas materias, [35], pero también en otras universidades se ha explotado este modelo con una orientación preparatoria para el trabajo en industrias, [21], [22], y la aclimatación al uso de equipos robotizados, [15].

Y es que cuando se entra en la evaluación del mundo industrial y empresarial se detecta que es ahí donde más equipos robotizados se venden, en el 2012, el 70% de ellos en Japón, China, Estados Unidos, Corea del Sur y Alemania, [50], y las previsiones siguen en esa línea, [51]. Empresas relacionadas con el automóvil, la aeronáutica, la fabricación de equipos tecnológicos, como televisores, ordenadores, electrodomésticos, mucha de la tecnología que utilizamos diariamente ha sido ensamblada, tratada o empaquetada utilizando equipos robotizados con diferentes características y destinados a realizar diferentes funciones, [52]. Incluso en un futuro cercano se propone que serán equipos robotizados quienes nos entreguen nuestras compras en nuestro domicilio, [53].

La formación y cualificación a la hora de trabajar en una industria que utilice equipos robotizados pasa por un periodo de aclimatación del trabajador que muchas veces requiere un extenso proceso de formación, [54], [9]. Este proceso llevará asociado unas determinadas horas de prácticas con el equipo que se va a tener que utilizar. Gracias a las nuevas tecnologías esta formación puede, en algunos casos, realizarse hoy en día empleando laboratorios remotos a los que se puede acceder con una conexión a Internet.

Los ejemplos mostrados en cada uno de los ámbitos citados permiten apreciar hasta qué punto la robótica está integrada en nuestra sociedad actual, [55], así como la importancia que tiene.

2.4. La simulación como alternativa

Por desgracia no siempre es posible utilizar equipos robotizados reales. Bien sea por su coste o por su tamaño, o sencillamente porque el coste de horas de uso de los mismos es excesivo. En esos casos la simulación es una alternativa igualmente útil que además ofrece determinadas ventajas inherentes a su uso.

Inicialmente la simulación se muestra útil desde el momento mismo en que se empieza a desarrollar un equipo robotizado. Gracias a los programas de simulación se puede diseñar un robot en un entorno virtual, programarlo con los detalles necesarios que, se piensa, van a ser útiles para la realización de su trabajo y finalmente comprobar si el funcionamiento será o no el esperado. Realizar esto con un software de simulación ofrece la ventaja de que no supone un coste de fabricación, no hay que soldar o atornillar piezas, se pueden modificar texturas, piezas, engranajes con un solo clic de ratón, y todo ello tantas veces como sea necesario, [56].

La utilidad formativa de la simulación ha llevado a diseñar paquetes específicos, muy útiles para aumentar la cualificación universitaria de futuros ingenieros y acercarlos al mundo empresarial, [57]. Pero la utilidad de la simulación llega mucho más allá. Los entornos industriales son centros de trabajo dónde conviven diferentes tipos de maquinaria en espacios de diferentes tamaños y con tráfico de vehículos o personas habitual. Utilizando software de simulación es posible comprobar el funcionamiento de equipos robotizados en un determinado entorno. Se puede conocer así cual debe ser la adecuada distancia de seguridad del operario ante el equipo, también la existencia de interferencias entre diferentes equipos robotizados o estos y otra maquinaria, así como la mejor opción a la hora de instalar el citado equipo.

El software de simulación industrial es muy útil y, si bien hoy en día convive con las prácticas reales, es necesario describirlo y citar alguno de los programas informáticos más representativos para comprender posteriormente la importancia que los laboratorios reales tienen; ya no como una posible alternativa, sino como complemento formativo; actualmente.

- ✓ **CIROS**, [58]: Es un programa de simulación industrial 3D desarrollado por la empresa FESTO, [59]. Según la descripción del producto, [60], sus características permiten emular todos los entornos de aprendizaje de mecatrónica,

robótica y automatización industrial en una misma plataforma. Su interface de usuario está orientada a la manipulación de tareas y experimentación con proyectos, y permite la personalización del entorno (Figura 2.2).

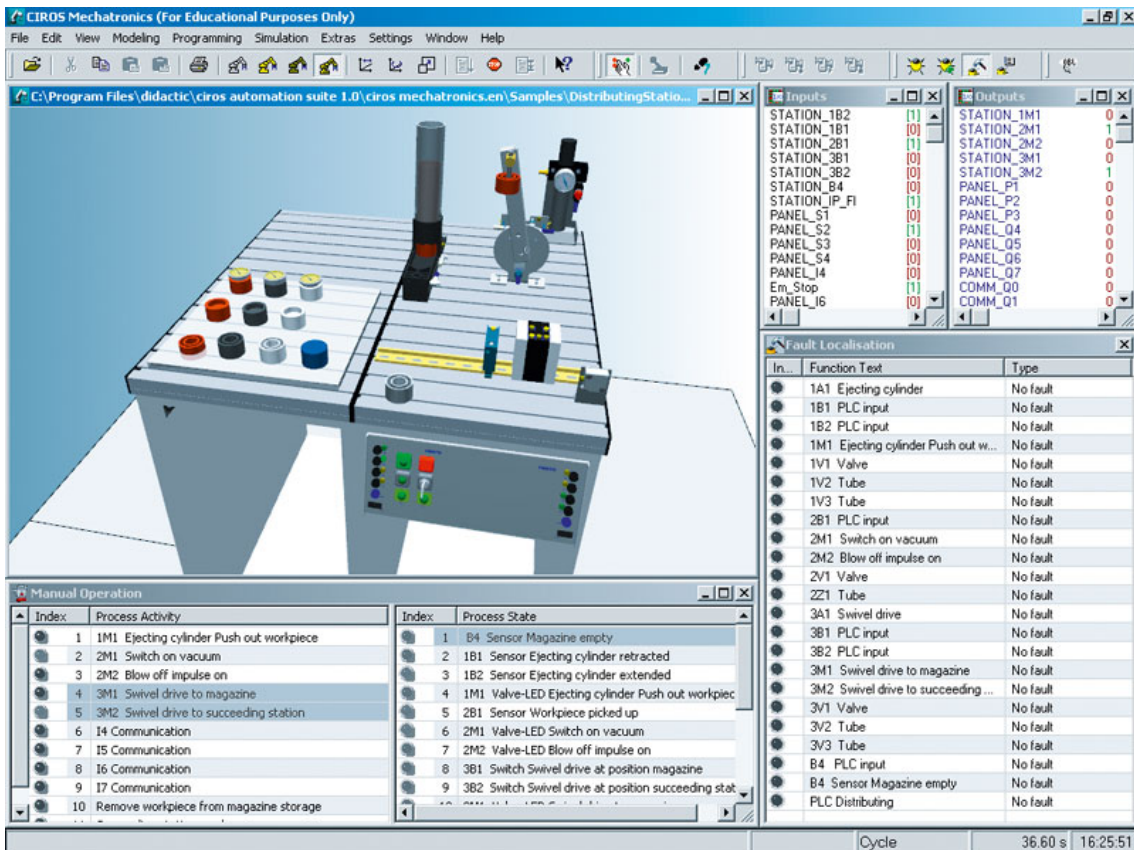


Figura 2.2. Interfaz personalizada de CIROS.

Cuenta con un asistente en línea y un sistema de renderizado 3D que facilita la visibilidad de los elementos de la pantalla (Figura 2.3). Como en la mayoría del software de este nivel, permite realizar la importación de datos CAD.

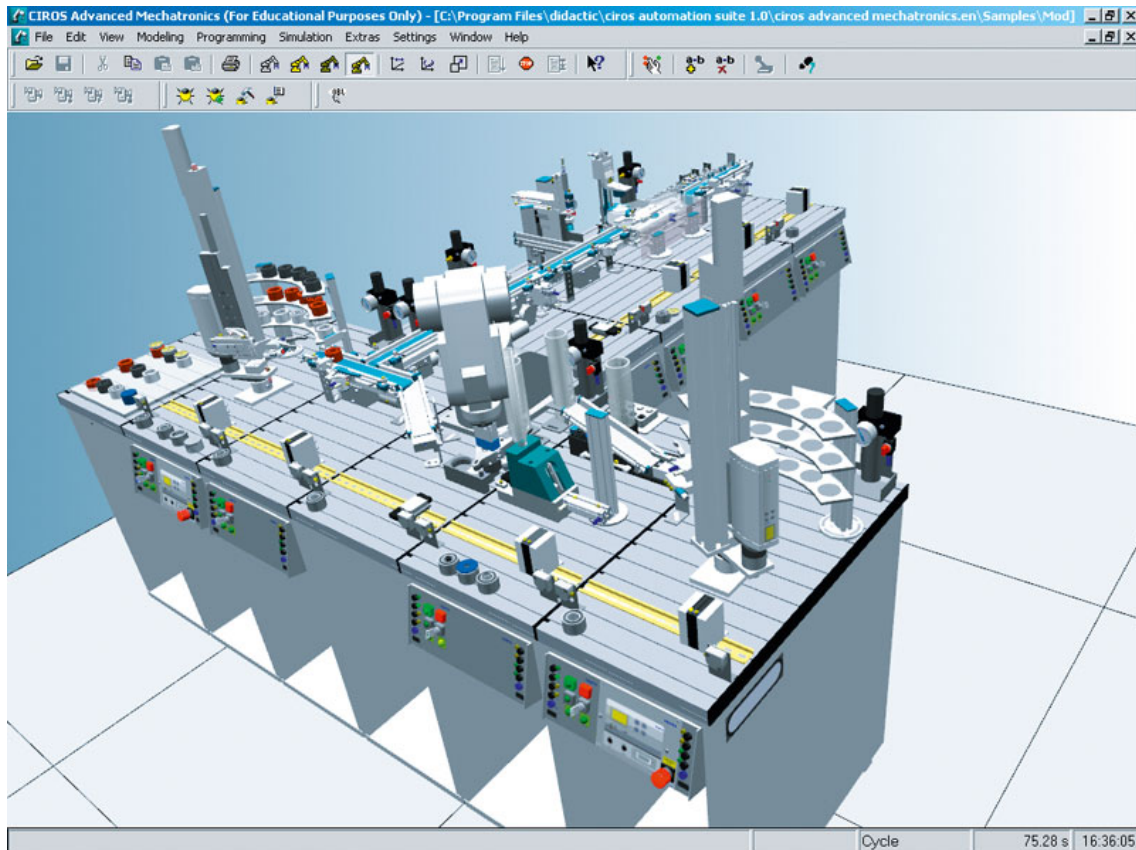


Figura 2.3. Imagen del software CIROS y su calidad de detalles 3D.

La empresa está especializada en entornos de aprendizaje de robótica y e-Learning. Uno de los aspectos más importantes de los laboratorios remotos de robótica es precisamente ese carácter de remoto, que los hace accesibles y útiles para aquellas personas que no pueden trasladarse físicamente al lugar de docencia. FESTO, al igual que la mayoría de las empresas de este sector, actualmente, conoce la importancia de ese problema y es por ello que ofrece cursos a distancia que salvan esa brecha formativa.

- ✓ **ARENA**, [61]: Es un software desarrollado por la empresa Rockwell Automation, [62], y está diseñado para simular procesos industriales simples y complejos. Posee una oferta de formación para universidades y otra para empresas, muestra de la importancia ya citada que este tipo de cualificación tiene para los estudiantes de ingeniería. El software de simulación muestra, tanto en 2D como en 3D, situaciones en entornos tan dispares como cadenas de montaje, centros de salud o instalaciones militares, o gestión de carga y descarga en puertos (Figura 2.4).

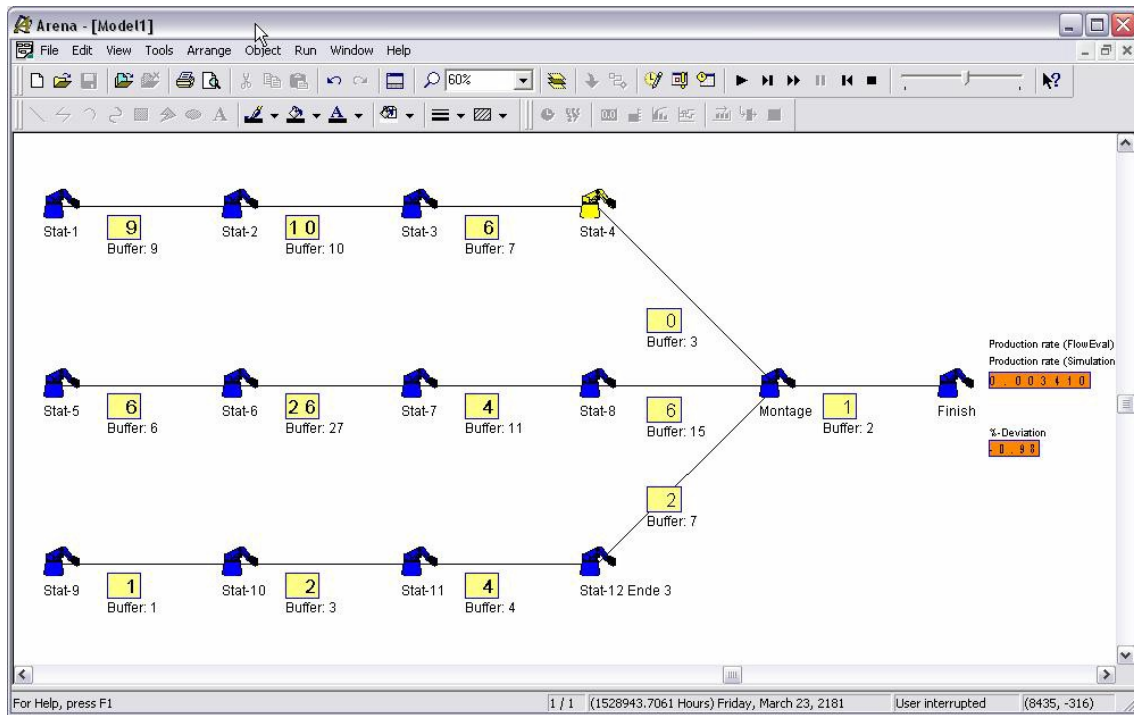


Figura 2.4. Esquema de planificación de tareas en Arena.

Dada la enorme generalidad de entornos de este software, en la propia página web de la empresa ofrecen numerosos vídeos para muchos de los casos de uso posibles, así como gran número de seminarios presenciales y *webcast* en línea para familiarizarse con el uso del mismo.

- ✓ **FlexSim**, [63]: También cubriendo un abanico de entornos tan amplio como en el caso anterior. Con una estrategia comercial más agresiva centrada en el ahorro de costes que supone la simulación, y en sus 20 años de experiencia; nació en 1993; abarca desde entornos industriales, logística y también centros de salud. Su enfoque se centra en acercar al máximo los entornos 3D a la realidad mediante la simulación, y para ello no duda en desplegar todas las herramientas de desarrollo necesarias para permitir al usuario personalizarlos al máximo (Figura 2.5).

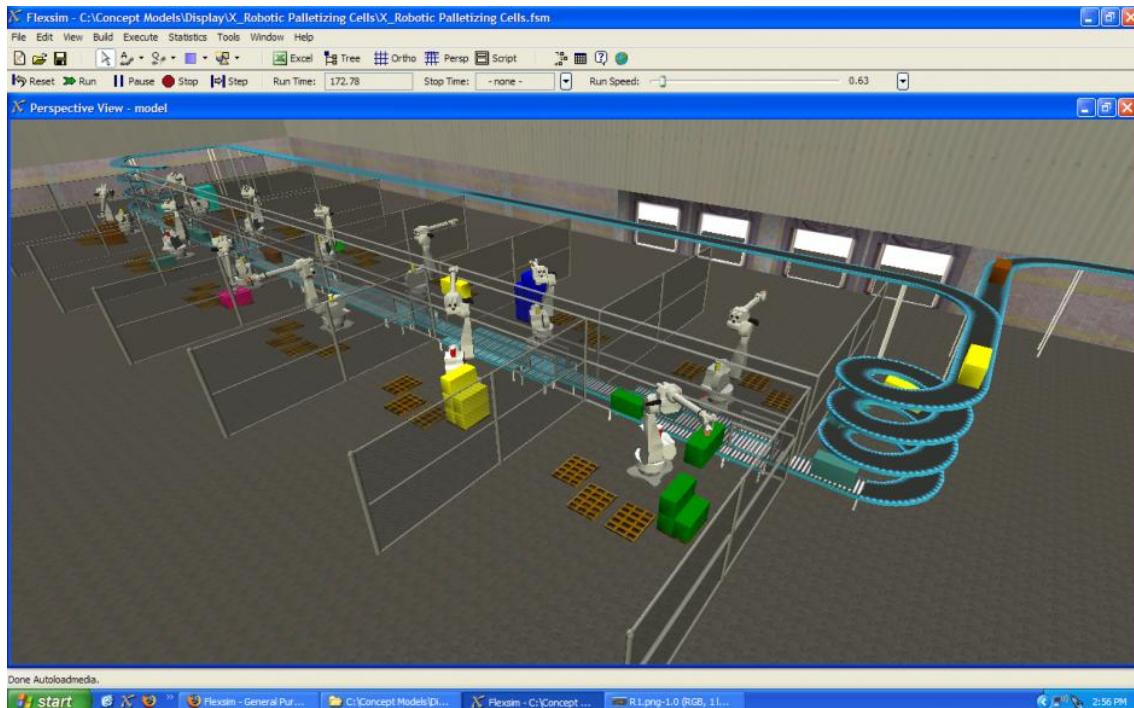


Figura 2.5. Entorno FlexSim de simulación de cadena de brazos robotizados.

Dada la complejidad de uso del software de simulación, FlexSim se precia de desarrollar un software de gran sencillez que permite personalizar los modelos de simulación y optimizar así la capacidad de los procesos. Al igual que en los dos casos anteriores, eso no le exime de ofrecer cursos formativos y tener una sección educativa destinada a la simulación mediante el uso de software.

Los tres casos citados son un ejemplo del diferente software de simulación existente en el mercado. En este caso de pago, si bien suelen tener versiones de demostración o licencias académicas gratuitas o a precio reducido para mostrar parte de la potencia del producto.

A pesar de estar todos ellos relacionados de manera directa o indirecta con la educación y formación, o con el entorno académico, es necesario destacar, dentro del software de simulación sobre robótica, y en especial sobre robots, a Webots, [64]. Desarrollado por la empresa suiza Cyberbotics y actualmente en su versión 7.4.2. Nacido como proyecto de software libre orientado a la simulación de equipos robotizados, cuenta actualmente con diferentes licencias, aparte de la gratuita, una educativa de uso económico y varias profesionales con un mayor coste y más versatilidad. La importancia de este software viene avalada por el número de veces que ha sido citado o utilizado en publicaciones del IEEE, [65], ACM, [66], Springer, [67], o MIT Press, [68], entre otros. El autor de esta tesis doctoral tuvo la posibilidad de participar como *beta tester* en la versión 7.0.3 de este software permitiendo corregir algunos fallos en su integración con Windows 7 y 8 y pudiendo conocer más a fondo el desarrollo de este software, su potencial y a sus creadores.

En esencia, replica, de la manera más realista posible el mayor número de robots y equipos robotizados existentes en el mercado, desde kits de robots comerciales de tipo educativo, como NAO de Aldebaran Robotics, [69], hasta brazos robotizados de empresas del sector industrial, como Kuka, [70], con una librería que se amplía cada vez

más y que permite incluso utilizar la interfaz del programa para, una vez realizada la simulación, cargar el programa en el robot y ver en la realidad el funcionamiento del mismo, comparándolo así con lo visto en la simulación.

Cuenta con entornos 3D de gran calidad (Figura 2.6) y personalizables que van desde el agua, arena, pasando por entornos fabriles con texturas modificables.



Figura 2.6. Nivel de detalle en sombras y texturas de Webots con robots Nao.

Robots de todo tipo de clase que interaccionan con las texturas de manera realista (Figura 2.7), y, como se ha indicado; la posibilidad de contar con una versión completamente gratuita con algunas limitaciones pero con gran cantidad de módulos y librerías de terceros que enriquecen aún más este software, hacen que Webots pueda considerarse uno de los entornos de simulación de robots más útiles del mercado actual en lo que al ámbito educativo se refiere.

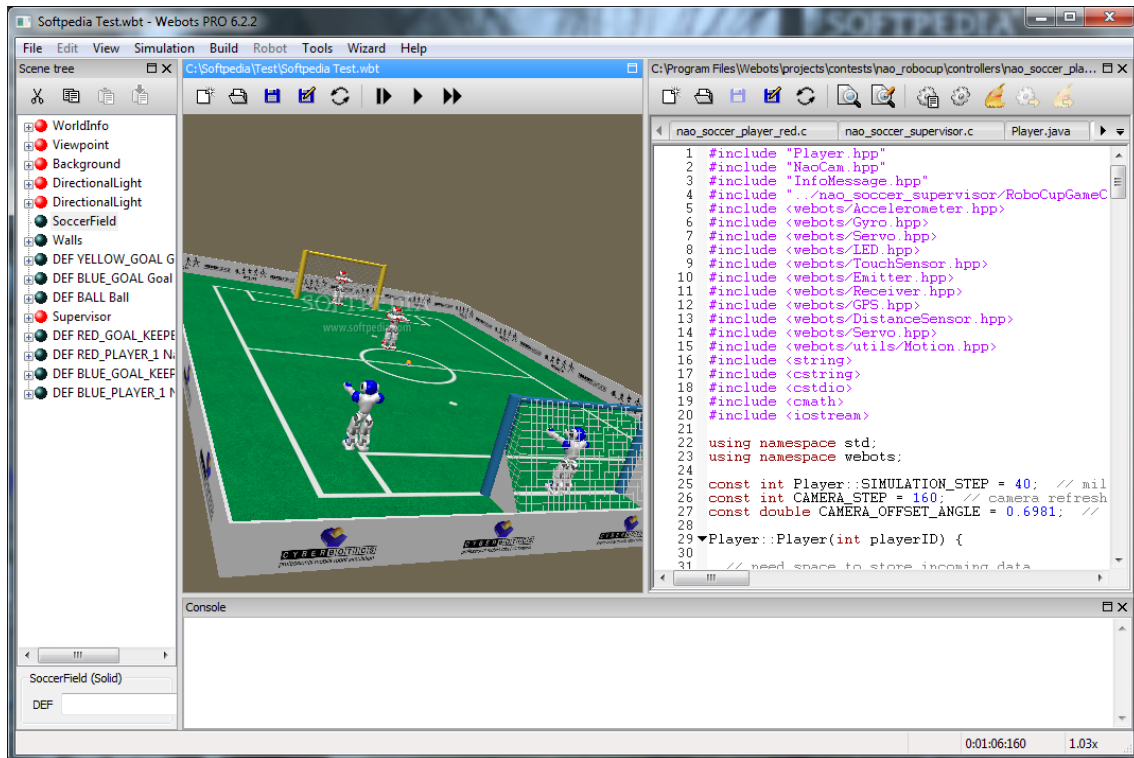


Figura 2.7. Webots en el desarrollo de una simulación de “futbot” con varios Nao.

Como se ha indicado anteriormente la simulación tiene un contenido formativo esencial, constituye un elemento facilitador a la hora de enfrentarse al control de un equipo robotizado y ofrece una seguridad que no es fácil conseguir con la manipulación del citado equipo en la vida real, [12].

Es precisamente esa diferencia entre la simulación y la realidad lo que muestra la importancia de completar dicha formación en un entorno real con un equipo robotizado real y con situaciones reales de manipulación.

Para ello, una vez familiarizado el usuario con las simulaciones, el paso siguiente es trabajar directa y realmente con el equipo robotizado.

2.5. Laboratorios remotos de robótica

El uso de los laboratorios remotos está extendido en el ámbito académico, podemos encontrar ejemplos en numerosas asociaciones internacionales interuniversitarias que llevan varios años trabajando con ellos:

- ✓ *Global Online Laboratory Consortium (GOLC)*, [34], [71], cuya misión es la creación de entornos experimentales en línea, así como su difusión, que permitan aumentar el valor educativo y científico en aquellos lugares en los que la accesibilidad directa a los mismos no sea posible.
- ✓ *Labshare*, [72], organización sin ánimo de lucro cuyo objetivo es facilitar y permitir el acceso de instituciones educativas a laboratorios remotos.

- ✓ *iLabCentral*, [73], cuyo objetivo es permitir el acceso a laboratorios remotos a través de Internet a colegios, estudiantes y educadores. Su filosofía de trabajo “*Making high school science labs more real, more engaging, and more accessible*” (Haciendo laboratorios de ciencia para la escuela secundaria más reales, más atractivos, y más accesibles) es una muestra clara de su orientación escolar en ese sentido.

Los ejemplos citados integran diferentes laboratorios de diferentes partes del mundo en un único sistema que permite el acceso global a los miembros asociados.

En otra línea de trabajo varias instituciones educativas han optado por distribuir directamente en Internet sus laboratorios remotos. Ejemplos de ello se pueden encontrar en:

- ✓ *WebLab-Deusto*, [74], impulsado y desarrollado por la Universidad de Deusto y con alcance y visibilidad internacional, uno de los referentes en lo que a laboratorios remotos se refiere dentro y fuera de España.
- ✓ *NetLab*, [75], en la Universidad del Sur de Australia, que utiliza su laboratorio con finalidad educativa y permite su acceso previa inscripción.
- ✓ *UNED*, [35], a través de varios portales destinados a la divulgación y al uso de tecnologías educativas relacionadas con la ingeniería.

Dentro de los ejemplos citados se encuentran muy pocos laboratorios remotos de robótica. En el caso de Labshare ofrecen iRobot, en WebLab-Deusto cuentan con “Robot”, pero lo habitual es orientar la temática de estos laboratorios a entornos generalistas relacionados con la física, la biología, la química o la ingeniería eléctrica y electrónica, incluyendo también las energías renovables.

Por otro lado no es habitual ofrecer las herramientas para desarrollar un laboratorio remoto propio. De los casos citados solo WebLab-Deusto proporciona el código fuente de manera libre a quién lo quiera utilizar para desarrollar su propio laboratorio remoto, [76].

Cuando se desea crear un sistema específico de integración de equipos robotizados podemos citar PR2 Remote Lab, [77], que incluso ofrece su sistema a otros investigadores, y su software a otras instituciones para replicar laboratorios similares al suyo. Desarrollado en el Bosch Research and Technology Center desde el año 2011, su reciente puesta en marcha le ha permitido utilizar software específico para robótica como Robot Management System (RMS), [78]; iniciado a través del proyecto RAIL Lab (Robot Autonomy and Interactive Learning), [79], desde el Worcester Polytechnic Institute, [80]; Robot Web Tools Project, [81], y Robot Operating System, [82], todos ellos software libre y a disposición del público a través de Internet.

Las diferentes características en hardware y software de los equipos robotizados requieren un tratamiento que muchas veces tiende a la personalización del laboratorio. Con los ejemplos mostrados se puede apreciar que eso no siempre es necesario y que a veces con un software generalista es posible la integración y la replicación de laboratorios remotos de robótica con diferente hardware. Aunque, si bien es posible,

habitualmente es complejo. Por ello la tendencia es a intentar homogeneizar los sistemas de integración tanto vía software; como hemos visto; como vía hardware, dando lugar a un equipo software-hardware de integración que facilite el trabajo.

2.5.1. Hardware y software, sistemas utilizados

Dentro de las posibilidades de uso real de equipos robotizados cabe destacar en el mercado dos productos que por su integración en la industria, su expansión en laboratorios para uso educativo en la ingeniería y su generalización a nivel internacional, son referentes: LabVIEW, de National Instruments, [83], y MatLab de MathWorks, [84].

Si bien ya han sido valorados en estudios previos, [39], en el caso de este trabajo su importancia se centra en su utilidad con herramientas de hardware libre. Se realiza a continuación un análisis de ambos paquetes para posteriormente evaluar sus ventajas y aportaciones al tema que nos ocupa y sus deficiencias y debilidades, que han motivado la realización del desarrollo e investigación que se explicita a lo largo de esta tesis doctoral. Tanto MatLab como LabVIEW no solo se orientan al diseño de laboratorios generalistas sino que la robótica forma parte también de sus posibilidades, llevando estas a disciplinas conexas como la visión artificial y el reconocimiento de patrones utilizando herramientas visuales.

- **MatLab:** Actualmente se ha convertido en una herramienta que va mucho más allá de aquello para lo que se diseñó inicialmente, cálculos con vectores y matrices. Su nivel de integración con hardware la ha convertido en una herramienta que actualmente se utiliza para análisis de sistemas y que, junto con los módulos adecuados, permite su presencia en diferentes ramas de la ingeniería.

En lo que a laboratorios remotos concierne cuenta con Simulink Coder (también llamado Real Time Workshop), [85], que permite generar y replicar código en tiempo real para sistemas embebidos y que es utilizado habitualmente para desarrollar laboratorios virtuales y de manera especial laboratorios remotos de robótica por sus características para la adquisición de datos y el control. Junto con este módulo se pueden utilizar los servicios MatLab Builder NE, [86], para desarrollos en .NET, o MatLab Builder JA, [87], para desarrollos en Java, que constituyen lo que viene a ser el conjunto MatLab Web Application, [88]; antiguamente para ello existía el denominado MatLab Web Server, [89], que asumía las funciones indicadas. Ahora este producto está ya descatalogado y, si bien, sigue siendo compatible su uso mediante diferentes ajustes en el sistema, ya no es habitual utilizarlo para estos desarrollos. Las dos herramientas antes citadas se encargarían de dar soporte para desarrollar el código necesario para desplegar los servicios web para los laboratorios remotos. Habitualmente el esquema seguido asume que el navegador se ejecuta en la máquina cliente mientras que MatLab, y sus paquetes de aplicación del servidor web, se ejecutan en el servidor que está conectado al equipo robotizado.

El citado tándem permite, tras la formación adecuada, implementar y desarrollar determinados laboratorios remotos.

Actualmente, y volviendo en concreto a los laboratorios de robótica, MatLab ha incorporado los módulos necesarios para interactuar con determinado tipo de hardware libre. En concreto se pueden utilizar sus paquetes específicos de software de integración para trabajar con:

- ✓ *Arduino*, [90]: Sólo para Arduino Uno, Arduino Mega 2560 y Arduino Duemilanove (Figura 2.8).

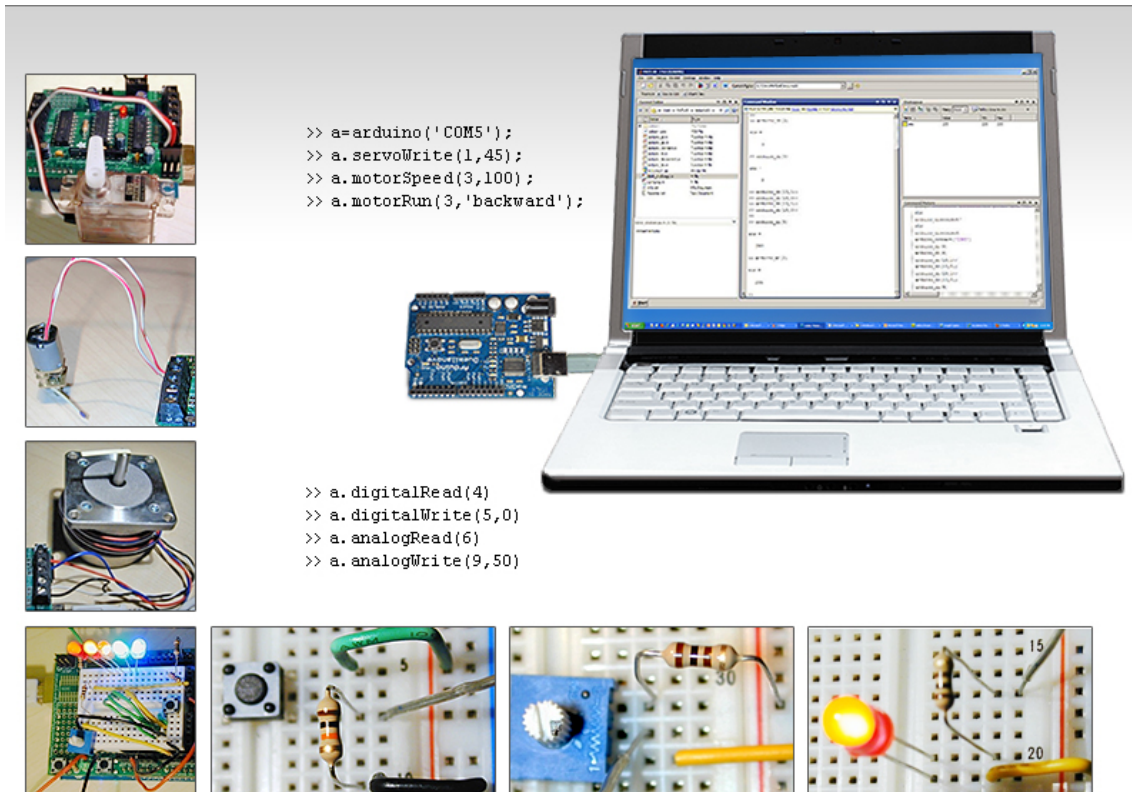


Figura 2.8. Integración de Arduino UNO en MatLab.

- ✓ *Raspberry Pi*, [91]: Sólo para Raspberry Pi Model B (Figura 2.9).

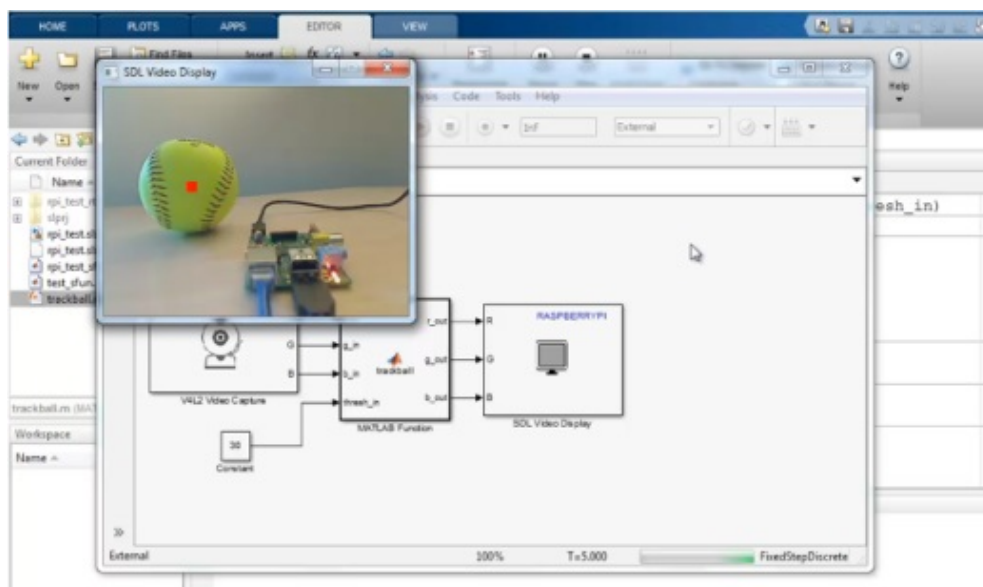


Figura 2.9. Integración de Raspberry Pi en Simulink de MatLab.

- ✓ *BeagleBone*: En este caso la integración es bastante más restrictiva ya que el soporte real es para BeagleBoard, [92], y en concreto para Beagle Board xM. Eso ha motivado que actualmente la compatibilidad sea puntual para estas placas, y no alcance oficialmente al hardware BeagleBone (Figura 2.10).

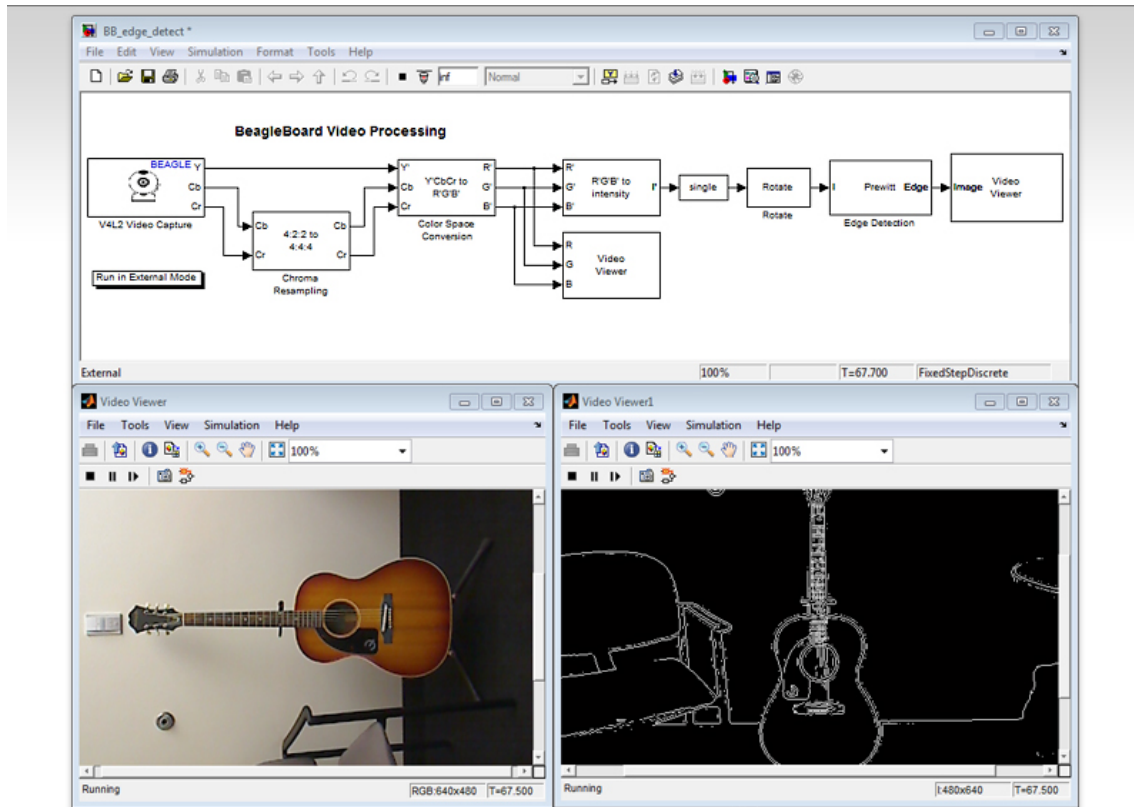


Figura 2.10. Integración de BeagleBoard en Simulink de MatLab.

Asimismo MatLab ha integrado también la robótica educativa de Lego, con lo que actualmente tiene soporte para Lego Mindstorm, [93], en concreto para los modelos Lego Mindstorm NXT 1.0, NXT 2.0, o Education NXT Base Set (Figura 2.11), y, si hablamos de robots con precios superiores también da soporte para los robots NAO, [94], ofrecidos por Aldebaran Robotics [69].

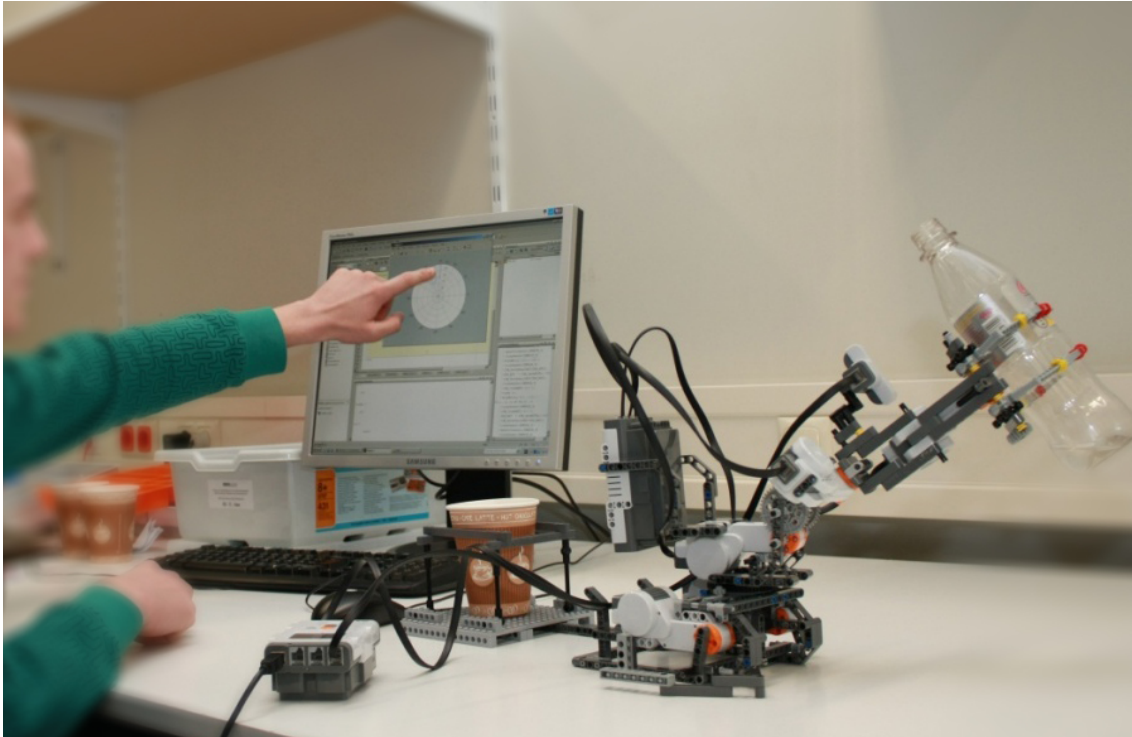


Figura 2.11. Integración de Lego Mindstorm en MatLab.

En alguno de los casos citados es necesario algún tipo de hardware de integración facilitado por la propia empresa de MatLab a un determinado coste, y en todos los casos es necesario contar como mínimo con la licencia de versión educativa, [95], de su producto que también supone un desembolso añadido.

- **LabVIEW:** Como en el caso de MatLab se ha ido convirtiendo en algo más que un mero software de adquisición de datos. Utilizando el mismo sistema modular ha ido evolucionando de manera paralela a MatLab y actualmente ofrece un gran número de algoritmos para aplicaciones de control, gran cantidad de hardware propietario para potenciar las posibilidades del software en lo que a recogida y procesado de datos se refiere, y una importante cantidad de *drivers* para diferentes dispositivos. De la misma forma que MatLab, LabVIEW cuenta con la posibilidad de desplegar servicios web; en este caso ya integrados en el software principal; lo que lo hace muy interesante como herramienta para implementar laboratorios remotos a nivel académico. Como en el caso anterior LabVIEW ha realizado un importante esfuerzo por añadir, en los últimos años, soporte para hardware libre.
 - ✓ *Arduino:* El sistema de integración se lleva a cabo con la herramienta Arduino Toolkit, [95]. Con ella se puede controlar la adquisición y carga de datos en una placa Arduino (Figura 2.12). En este caso la compatibilidad se reduce al uso del Arduino UNO, [97], si bien en el foro de Arduino de National Instruments es posible encontrar pruebas con alguna de las otras placas existentes de Arduino, [98].

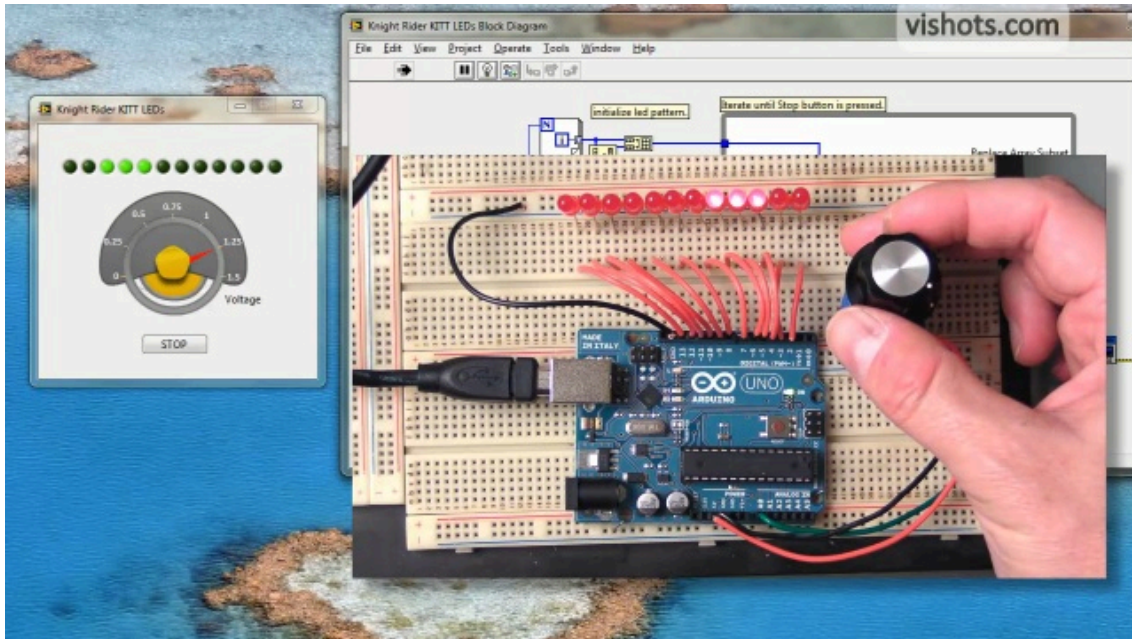


Figura 2.12. Integración de Arduino en LabVIEW.

- ✓ *Raspberry Pi*: Actualmente no tiene soporte en LabVIEW. La razón esgrimida para ello en los foros de National Instruments es pragmática: dado que LabVIEW tiene una versión para Linux, así como por la inexistencia de pines analógicos en la Raspberry Pi, no se considera adecuado proporcionar una compatibilidad exclusiva para Raspberry Pi, [99]. No obstante, sí comercializan un producto que permite conectar la Raspberry Pi y su distribución de Linux, Raspbian Wheezy, a LabVIEW. En concreto es el USB DAQ Driver, [100], compatible con los dispositivos NI USB-6008/6009 de National Instruments (Figura 2.13).



Figura 2.13. Imagen del NI USB-6008.

- ✓ *BeagleBone*: Tampoco existe soporte directo de LabVIEW para esta placa. Si bien se ofrece soporte para microcontroladores ARM de Texas Instruments, con lo que de manera indirecta si se puede trabajar con BeagleBone en LabVIEW. En este caso el intento de compatibilidad viene de la mano del desarrollador oficial de BeagleBone a través de Botspeak, [101], y los *drivers* específicos desarrollados para LabVIEW.

Respecto a la integración de equipos robotizados, actualmente LabVIEW da soporte a Lego Mindstorm, [102]. Con esta integración se pueden adquirir y enviar datos a estos equipos robotizados (Figura 2.14), previo pago de la pertinente licencia.



Figura 2.14. Lego Mindstorm y LabVIEW.

Si bien LabVIEW no posee soporte para otro tipo de robots educativos, como en el caso de MatLab, si cuenta con su propio kit de prototipos de robótica, [103], y con una plataforma específica para iRobot, [104].

2.5.2. Ventajas e inconvenientes

El uso de las herramientas descritas se ha demostrado útil a la hora de desarrollar laboratorios de hardware en general y determinados laboratorios remotos en particular. A continuación se analizan algunas de las ventajas que suponen.

Ventajas:

- ✓ Existencia de tutoriales y documentación que desarrollan las distintas posibilidades de uso.
- ✓ Soporte actualizado de cada una de las plataformas.
- ✓ Demostraciones de integración con el hardware descrito y soportado en cada caso.
- ✓ Atención al cliente y propuestas de soluciones o hardware alternativo para cada caso particular.

- ✓ Herramientas hardware generalista para facilitar la integración, toma y envío de datos con diferentes características.
- ✓ Sistema de paquetes para instrumentos y hardware concreto.
- ✓ Servicio de asistencia y teléfono/email/chat de atención al usuario.
- ✓ Son sistemas propietarios y como tal tienen una garantía en el mercado avalada por su experiencia a lo largo de los años.

Al mismo tiempo estas plataformas poseen determinadas características que reducen su posibilidad de uso en entornos generalistas de bajo coste.

Inconvenientes:

- ✓ Como se ha comentado previamente, son plataformas de pago. Si bien en algún caso se pueden utilizar en modo prueba durante un período determinado de tiempo, al final es necesario pagar una licencia por su uso. En ambas plataformas existen versiones destinadas a uso educativo, pero o bien estas son también de pago, o bien están limitadas para el uso de determinados paquetes de integración, o bien derivan a un distribuidor local para comprarlas directamente. Incluso en el caso de prototipos de robótica educativa del tipo Lego Mindstorm, el coste es un elemento a tener en cuenta por bajas que sean sus prestaciones, [105], por supuesto el coste del software de LabVIEW es aparte.
- ✓ Los tutoriales y materiales, así como los seminarios por Internet que imparten, habitualmente de manera gratuita, ambas plataformas, son extensos y completos, pero es habitual ver descritos en ellos hardware comercializado por las propias empresas que los imparten. Dicho hardware suele tener un coste más elevado que el hardware libre que utiliza SiLaRR.
- ✓ Tras asistir a seminarios de ambas plataformas, son habituales las preguntas relacionadas con otro tipo de hardware de toma de datos que no es comercializado por las empresas que distribuyen las citadas plataformas. La respuesta siempre es la misma, no se ofrece soporte de integración con ningún hardware que no sea el propio de las plataformas. Ese enfoque limita mucho las capacidades de ajuste presupuestario del usuario de cara a desarrollar laboratorios remotos personalizados.
- ✓ Si bien, como se ha indicado, las opciones de integración con hardware libre se han incrementado conforme dicho hardware libre se ha ido haciendo más popular, todavía queda camino por recorrer. En los casos ya citados las posibilidades de integración se reducen a determinados modelos de dicho hardware, o bien todavía no están desarrollados los paquetes o módulos de integración, o no se piensan desarrollar.
- ✓ A pesar de los seminarios gratuitos, y la documentación y manuales disponibles, la curva de aprendizaje de ambas plataformas se hace bastante larga, hasta el punto de que el propio LabVIEW tiene un tutorial para indicarnos desde que punto de la curva de aprendizaje debemos partir cuando nos enfrentamos por

primera vez a dicha plataforma, [106]. El excesivo tiempo necesario para conocer y aprovechar ambas plataformas de una manera mínimamente productiva puede llegar a desanimar a algunos usuarios.

- ✓ Si hablamos de integrar otro tipo de hardware como cámaras, audio, etc., la complejidad de las citadas plataformas pueden incrementarse en gran medida. Lo habitual, como se ha indicado previamente, es que requieran servicios web independientes o dedicados, expresamente configurados para ello.

La orientación industrial de ambas plataformas las convierte en instrumentos adecuados para entornos en los que se presuponen unos conocimientos previos concretos y una disponibilidad de hardware que viene dada por esa orientación industrial. Pero esta orientación falla cuando el enfoque buscado está más centrado en la divulgación y en la educación. Si bien ambas se utilizan habitualmente en entornos académicos universitarios, se aprecia una cierta necesidad de trasladar la posibilidad de integrar laboratorios de una manera más rápida, más económica y sin un periodo de formación tan elevado.

2.5.3. Un nuevo enfoque: la generalización

A las plataformas actuales les falta un enfoque más generalista desde el punto de vista del cliente potencial al que pueden ir dirigidas. Una propuesta que busque facilitar la integración de laboratorios tanto en entornos industriales como en entornos educativos, desde la formación empresarial, pasando por el ámbito académico universitario hasta los colegios, permitiendo el uso del sistema incluso a particulares que quieran ofrecer sus laboratorios de robótica a través de Internet.

La generalización, en un mundo tan tecnificado como el actual, es la apuesta que debería ofrecer un sistema que aproveche las bondades de las plataformas propietarias y las conjugue con la tecnología que existe actualmente en el mercado de hardware libre.

La generalización implica tener en consideración no solo los factores derivados de una integración mecanicista de laboratorios, debe tener en consideración factores de tipo económico, [3], evaluando las características de un determinado laboratorio y analizando su coste como un todo; incluyendo hardware y software; amoldándose a laboratorios existentes, o permitiendo la integración de nuevos laboratorios.

Un enfoque generalizado debe permitir reaprovechar la información existente; ya sea en publicaciones, foros o Internet; y enriquecer ésta con nuevas experiencias que potencien la divulgación de la ciencia y la tecnología entre aquellos que quieren conocer, o ya conocen la robótica.

Para todo ello es necesario simplificar el sistema de integración, conservar la modularidad, reducir los conocimientos necesarios para publicar en Internet los laboratorios integrados y creados, y facilitar al máximo la gestión de los mismos por parte de sus creadores.

Desde un punto de vista del usuario final, se debe permitir un aprovechamiento didáctico que no requiera elevados conocimientos y reduzca a un mero navegador de

Internet las necesidades del cliente. El laboratorio debe adecuarse a las actuales plataformas móviles permitiendo su uso y disfrute en tabletas o *smartphones*. Evidentemente no todos los laboratorios podrán adaptarse de igual manera a diferentes tipos de dispositivos, pero si debe facilitarse el acceso a los mismos.

Esa capacidad de divulgación no debe ir en detrimento de la sencillez de integración, con lo que los sistemas deben contar con las características que permitan que los laboratorios; una vez integrados cuenten con servicios multimedia como vídeo en *streaming*, que permitan que el usuario interactúe con ellos en tiempo real.

Para ello desde el lado del servidor deberá tenerse en cuenta la sencillez de instalación, la propia integración del laboratorio y el hardware accesorio, como cámaras web, y la gestión de usuarios.

Siguiendo con la filosofía economicista, el objetivo es recurrir a herramientas que, habiendo sido testadas suficientemente para garantizar un uso seguro de las mismas, permitan una integración con un coste más reducido que el de las plataformas citadas.

Pero todo ello sin olvidar la sencillez. Con lo que el sistema de integración deberá ser intuitivo, directo y contar con las herramientas necesarias para una instalación exitosa.

Finalmente, todo el sistema deberá estar debidamente actualizado y permitir la integración de nuevos y diferentes laboratorios. Para ello el esquema ya utilizado por las plataformas citadas de paquetes o módulos personalizados, es el mecanismo que ha demostrado ser más útil. Foros que permitan aunar esfuerzos por usuarios del software y hardware libre, así como propuestas y ampliaciones del sistema inicial, son básicos para una generalización de su uso duradera en el tiempo. Es por ello que lo recomendable es que el propio sistema esté basado también en código abierto, y él mismo tenga ese enfoque.

2.6. Conclusiones

La importancia de la robótica a lo largo de la historia y en concreto en el último siglo ha marcado el escenario de partida que se ha utilizado para realizar un recorrido sobre varios tipos de laboratorios remotos, pasando por la importancia de los entornos de simulación hasta llegar a algunos ejemplos de foros o *marketplace* de laboratorios de la mano de diferentes consorcios o instituciones, la mayoría de ellos accesibles de manera gratuita, hasta llegar a la necesidad de integración de dichos laboratorios.

Las plataformas comerciales analizadas son, actualmente, las más usadas tanto en el ámbito académico como industrial. Ofrecen muchas funcionalidades y la experiencia de años trabajando en este campo, pero carecen de una característica fundamental si el objetivo es la divulgación y la diseminación de laboratorios remotos de robótica como una herramienta educativa: la falta de generalización desde el punto de vista del usuario.

Como base de dicha generalización se ha realizado un recorrido por algunas de las herramientas de hardware libre que puedan ser útiles como instrumentos

facilitadores de la integración de laboratorios en un sistema más genérico. Pero eso no es todo, hace falta profundizar en la sencillez de uso y en un sistema de instalación intuitivo y que cuente con todas las herramientas necesarias que necesita un laboratorio básico. Y todo ello a un coste económico.

El soporte dado por las características colaborativas del software y hardware libre se ha puesto como ejemplo para permitir que este sistema se desarrolle por sí mismo y siga creciendo más allá de sus características iniciales. Para ello su carácter de código abierto y sus posibilidades de modularidad jugarán un papel fundamental.

The Chinese use two brush strokes to write the word 'crisis.' One brush stroke stands for danger; the other for opportunity."

[Los chinos utilizan dos ideogramas para escribir la palabra 'crisis'. Uno representa peligro; el otro oportunidad.]

— John F. Kennedy

Capítulo

3

3. Entornos modulares, escalables y económicos

Existen varios requisitos a analizar que permitan la utilización del sistema descrito en los ámbitos citados. Desde un punto de vista de la utilidad el sistema propuesto debe permitir una implementación relativamente fácil de nuevos módulos que se adapten a las nuevas necesidades que vayan surgiendo para el usuario y en el mercado, pero existen otras características que deben cumplirse para garantizar el uso y la mejora del sistema a largo plazo y su generalización.

3.1. La nueva revolución industrial

La llamada nueva revolución industrial, [107], ha motivado un cambio en la concepción de la robótica y su uso no solo en entornos industriales sino en la propia sociedad, [55], [108]. Como se ha indicado en capítulos previos, dicho cambio ha pasado por una progresiva generalización y aceptación de los robots en la vida diaria y en entornos tan diferentes como la industria, el ocio, la universidad, las escuelas, la atención a ancianos y discapacitados, la medicina o la seguridad, [109].

Dado que los robots se han generalizado de cara al usuario, los sistemas que se utilizan para controlarlos y para formarse con ellos deben seguir esa misma línea. Para ello, y siguiendo el esquema establecido por SICTER, [20], se pueden destacar tres factores básicos con los que, al menos, debería contar cualquier sistema:

- ✓ **Modularidad:** Constituye la base del aprovechamiento máximo de un sistema básico. Inicialmente el sistema cuenta con una estructura genérica que proporciona lo necesario para implementar un laboratorio y desplegar este en Internet, pero debe ser lo suficientemente flexible como para incorporar nuevos desarrollos que den respuesta a soluciones concretas y que puedan incorporarse o ser utilizados por el sistema básico.
- ✓ **Escalabilidad:** Entendiendo como parte de la misma la adaptabilidad. No todos los laboratorios tienen las mismas necesidades. Como en el caso anterior el sistema básico nace con unas características lo suficientemente amplias, pero es

evidente que en base a las necesidades del laboratorio y del usuario necesitará escalarse para constituir una integración óptima.

- ✓ **Economicidad:** Todo ello sin perder de vista el objetivo de ahorro de costes. La tecnología posee una característica de mutabilidad que superada la Ley de Moore, [110], cada vez abarca más campos de la vida diaria. La robótica es uno de ellos, y el sistema debe poder integrar nuevos laboratorios manteniendo y mejorando su eficiencia inicial aprovechándose de los desarrollos tecnológicos para conseguir los costes más equilibrados posibles.

El objetivo de eficiencia final deberá compararse con la generalización de uso y la capacidad de integración. Factores todos ellos que deberán pasar por el nivel de satisfacción y sencillez mostrado, tanto para los usuarios que administren el sistema, como para los clientes finales que lo utilicen para objetivos formativos o de divulgación.

3.2. La necesidad de integración de los equipos robotizados

En las líneas anteriores se ha reiterado la importancia de la robótica en nuestros días y se hecho hincapié en el uso de los equipos robotizados en diferentes entornos, laboral, académico, social, de la salud, eso no sería posible sin una progresiva y creciente introducción de los equipos robotizados en nuestras vidas. Habitualmente esta familiarización ha venido a través de películas, libros, exposiciones, museos, pero cada vez más son las instituciones académicas, documentales sobre tecnología, y las propias empresas las que, aprovechando las nuevas tecnologías móviles y de gestión de la información como el *cloud computing*, [111], o el *big data*, [112], están profundizando en esa integración.

Pero, si bien, la teoría es importante, la práctica es el último eslabón para que el usuario o cliente final acepte o reclame todo el potencial que los equipos robotizados pueden aportar en su vida diaria. La formación, de nuevo, es el punto de inflexión en el que el mero conocimiento pasa a convertirse en utilidad real. Sólo manipulando realmente un equipo robotizado podemos comprender su capacidad para ayudarnos en las tareas a realizar.

Desde el punto de vista industrial la necesidad de formación se considera esencial para un óptimo aprovechamiento del equipo robotizado, pero desde el punto de vista académico y en la sociedad en general se enfoca como un valor añadido en la cualificación profesional. En las plataformas citadas, dados los costes de instalación y el período de aprendizaje necesario para usarlas, no se facilita la generalización de laboratorios remotos dedicados en exclusiva al uso habitual por parte de estudiantes, colegios o del público en general.

Una mayor formación facilita la comprensión de los equipos robotizados como herramientas, [9], o instrumentos útiles para el ser humano, modifica la percepción de estos como mera competencia laboral y reduce la idea de deshumanización social que puedan provocar, [113], [107].

Vivimos rodeados de máquinas que actúan de manera programada, desde los semáforos hasta las cadenas de producción industriales. No conocer esas máquinas

convierte al ser humano en un sujeto dependiente de algo que cree que no puede controlar, y la naturaleza defensiva de nuestra sociedad tiende a temer todo aquello que no controla, [114], por ello la mejor manera de optimizar el potencial de unas herramientas creadas y desarrolladas por nosotros mismos es precisamente conseguir un mejor conocimiento sobre las mismas.

Trasladar la citada formación al mayor número de público posible pasa por una integración de equipos robotizados más ágiles y rápidas desde el punto de vista de la creación de laboratorios remotos de robótica. Esa mayor agilidad viene dada por ofrecer las herramientas necesarias y facilitar su instalación para determinados laboratorios básicos que posteriormente se puedan ir incrementando en número y en complejidad.

Al mismo tiempo debe facilitarse una gestión adecuada de los laboratorios desarrollados, bien estableciendo un funcionamiento básico sencillo, o facilitando la integración del sistema en las bases de datos ya existentes en el servidor que se va a utilizar como referencia.

3.3. Economías de escala y reutilización

Para generalizar la citada integración se debe utilizar el potencial de las economías de escala. El proceso de modularidad ya descrito, así como la escalabilidad, constituyen un modelo que deriva en el aprovechamiento de lo ya existente y de las nuevas características que se van incorporando al sistema de una manera racional que aumenta la eficiencia y reduce los costes, [115].

En épocas de bonanza económica es posible disponer, tanto por empresas como por instituciones educativas, de fondos, instrumental hardware y equipo humano que se concentren solo en el objetivo final de desarrollo y puesta en marcha del laboratorio, pero en épocas con mayor escasez de medios esto desemboca en una paralización en el proceso de divulgación y desarrollo de nuevos laboratorios por la reducción de inversión en investigación, [116].

El uso de economías de escala permite continuar desarrollando nuevos laboratorios reutilizando los ya existentes, como ocurre en otros procesos de investigación en el mundo empresarial, [117].

3.3.1. La oportunidad de las crisis

Un aspecto positivo de las épocas de crisis es precisamente la capacidad de hacer más con menos, [118], la vuelta a lo útil y sencillo, a la vía de desarrollar la imaginación buscando nuevos caminos, que lleven al mismo destino, a un menor coste, [119], [120].

El sistema desarrollado a lo largo de esta tesis doctoral nace precisamente con esa filosofía. En un momento en que la capacidad económica era reducida, no solo no se utilizó esto como excusa, sino que se planteó un nuevo modelo de desarrollo basado en la reutilización, la puesta en marcha de un sistema de integración de laboratorios remotos que aprovechara lo mejor de las tecnologías existentes a un coste equitativo, justo y que permitiera la máxima difusión y generalización del mismo.

Fusionar el conocimiento y estudio de las nuevas tecnologías en robótica, comunicaciones, información, programación, multimedia y control, desembocó en un sistema capaz de cubrir las necesidades básicas para integrar un laboratorio de robótica existente con un bajo coste y desplegarlo en muy poco tiempo y con unos conocimientos básicos.

Pero no solo se puede hablar de coste cuando lo que se busca es desarrollar tecnología que permita generalizar la formación a distancia, también se tiene que hablar de beneficio. El beneficio que supone:

- ✓ Acercar aún más la tecnología al público en general,
- ✓ desarrollar nuevos mecanismos de comunicación que permitan integrar en redes locales equipos robotizados que muchas veces son anticuados o están obsoletos, para que puedan volver a ser utilizados,
- ✓ la recuperación de tecnologías que están infrautilizadas y que a día de hoy pueden encontrarse incluso en muchos hogares, como es el acceso a Internet de banda ancha y el poder contar con un PC,
- ✓ utilizar el potencial del software y hardware libre a través de una utilidad con un objetivo global, sin fronteras ni público objetivo concreto, solo con el ánimo de potenciar la divulgación y el conocimiento (Figura 3.1),
- ✓ convertir un hobby como es la robótica para muchos usuarios, en la posibilidad de poner en marcha desde el propio domicilio un laboratorio de robótica propio accesible desde cualquier parte del mundo.



Figura 3.1. La globalización y las nuevas tecnologías son una herramienta más a utilizar en la formación en robótica.

Y todo ello sin incurrir en la dependencia de grandes corporaciones empresariales, hardware de elevado coste, conocimientos avanzados de ingeniería ni infraestructuras rígidas o voluminosas.

La crisis ha podido cerrar muchas puertas pero a cambio abrió nuevas ventanas, sobre todo en lo relativo a las tecnologías de la información y a desarrollos basados en una alta carga tecnológica. Más aún en el campo de la robótica, que constituye un sector estratégico por el espectro tan amplio de sectores que abarca, desde el ámbito doméstico o social, al industrial o de investigación, [121].

3.3.2. Incremento de la eficiencia

Reducción de costes, integración escalable, reutilización de equipos robotizados o uso múltiple de los mismos, modularidad, en definitiva, un aumento de la eficiencia en el uso de un servicio.

El objetivo, siempre que hay un gasto implicado, es rentabilizar ese gasto. Cuando hablamos de formación y cualificación a veces es difícil ver la rentabilidad desde un punto de vista material, ya que estamos hablando de un personal más cualificado, una mayor profesionalidad a la hora de afrontar el trabajo, una mejor formación a la hora de salir al mercado laboral (Figura 3.2), un ahorro de costes derivados de errores, retrasos o problemas ocasionados por un mal uso de los equipos robotizados, o incluso de la reducción de accidentes o la eliminación de los mismos, [122], [9].



Figura 3.2. Una adecuada formación conlleva una mayor cualificación.

La eficiencia debe tener en cuenta aspectos como el tiempo necesario para integrar un equipo robotizado, o el coste derivado de dicha integración:

- Tiempo necesario para la integración: Previamente a la integración de un equipo robotizado es necesario conocer las características del mismo y evaluar si su integración es posible, [20]. En el entorno industrial el tiempo para formación está especialmente tasado y ajustado de cara a garantizar que los trabajadores sean capaces de aprovechar y rentabilizar el conocimiento obtenido lo antes posible. En esos casos siempre está presente el tiempo que supone realizar cualquier actividad formativa, pero además es esencial conocer y valorar el tiempo de adecuación de las instalaciones para ofrecer esa actividad. Desde el punto de vista del sistema de integración de equipos robotizados hay varios factores que deberán tenerse en cuenta de manera previa al proceso de integración:
 - ✓ El tiempo derivado del citado proceso de integración propiamente dicho.

- ✓ El tiempo de adecuación del equipo robotizado para hacerlo susceptible de integración.
- ✓ El tiempo previsto de uso del equipo robotizado para las actividades formativas.
- ✓ La posibilidad o no de recuperación del equipo robotizado como herramienta en el proceso productivo y el tiempo necesario para dicha recuperación.

Una vez evaluados dichos factores se podrá pasar a analizar el siguiente nivel, el coste.

- Coste de integración: En este caso es necesario conocer el coste económico derivado del uso del equipo robotizado fuera del entorno de producción, bajo este punto de vista los factores a tener en cuenta serían:
 - ✓ El coste derivado de lo que se deja de producir al utilizar el equipo para la formación, o bien lo que cuesta alquilar un nuevo equipo robotizado provisionalmente, o lo que supone paralizar durante un tiempo determinado una sección de la producción para dedicarla a formación.
 - ✓ El coste de integración del equipo robotizado en el sistema que permitirá realizar el proceso formativo.
 - ✓ El coste del proceso de formación en sí, mismo. En algunos casos contratar el proceso de formación a terceros puede suponer un ahorro importante para la empresa y elimina problemas derivados del proceso de integración o del uso del equipo robotizado fuera de la cadena productiva.

El uso del sistema desarrollado permite concentrar los esfuerzos en la formación y no en la implementación, reduciendo el esfuerzo de integración o bien ayudando a decidir si esa integración es viable, tanto si tiene un coste excesivo como si el tiempo que llevaría hacerla no es el adecuado, si es necesario otro equipo robotizado con unas características similares pero susceptible de una mejor integración, o si es preferible contratar el servicio de formación a terceros que permitan conseguir beneficiarse de la misma a un coste inferior que el que supondría la integración, ya que previamente analiza los factores antes expuestos.

A nivel académico la importancia de los factores citados se evalúa en base a elementos como la mayor cualificación que obtendrán los alumnos, la mejora y el valor añadido al servicio que se ofrece a los estudiantes, la importancia de la divulgación en el citado proceso de formación y la publicidad que se derive del mismo de cara a incrementar el valor de marca del centro que lo imparte, así como otros elementos derivados de la publicación, gestión de patentes, [123], o participación en proyectos que vayan ligados a ese proceso de formación que motiva la integración del equipo robotizado y su tecnología, [124].

Si bien, el análisis de costes y tiempos es tan importante como en el mundo empresarial o industrial, su estudio requiere analizar conceptos que a veces son difíciles de cuantificar económicamente, [125], como por ejemplo la satisfacción de un

estudiante a la hora de utilizar un nuevo laboratorio que le ayude a comprender la teoría estudiada.

3.4. Las posibilidades de las nuevas tecnologías

Gracias al actual desarrollo tecnológico es posible llevar a cabo con más rapidez, y menos esfuerzo, alguna de las tareas previamente expuestas. Cuando se plantea la evaluación del equipo robotizado, muchos de estos equipos robotizados, ya sean de carácter propietario o desarrollados mediante hardware libre, o incluso los desarrollados específicamente para una empresa, cuentan con especificaciones, foros, asistencia técnica, manuales, y esquemas de funcionamiento que ahorran mucho tiempo a la hora de conocer las limitaciones de los mismos.

De igual manera hoy en día es posible el control vía remota de algunos equipos robotizados, por parte de personal especializado, lo que reduce los costes de traslado al lugar dónde se situará el laboratorio para realizar ajustes de pequeña envergadura.

Tecnologías de la comunicación como Internet permiten el acceso más rápido a la información y a los equipos robotizados, pero también permiten conocer experiencias previas de otras empresas, universidades o particulares con los mismos, o parecidos, equipos robotizados. Estas experiencias previas son fundamentales a la hora de evaluar o no la integración de un equipo robotizado, ya que nos permitirán conocer de antemano posibles problemas durante el proceso. El sistema SICTER utiliza esas experiencias previas como referencia, [20].

Al mismo tiempo, y como se verá en capítulos sucesivos, las nuevas tecnologías facilitan la integración de los equipos robotizados y su puesta en marcha, permitiendo automatizar, y con ello reducir tiempos y costes, en el proceso. Los avances en la tecnología serán claves para mejorar el sistema básico a través de la modularidad y escalabilidad del mismo y añadir nuevos procesos, acciones o herramientas que lo vayan haciendo más completo y continúen aumentando su sencillez de cara al usuario final.

3.5. Hardware y software libre

Cuando hablamos de nuevas tecnologías debemos diferenciar entre hardware y software. Ambos han ido marcando sus hitos de desarrollo y se van constituyendo como referencia a lo largo del tiempo según se descubren nuevas utilidades y se perfeccionan antiguos desarrollos.

Dentro del hardware es necesario tener en cuenta varios factores:

- Sistemas de comunicaciones: cada uno con sus propias características, por una parte los relativos al propio equipo robotizado: si es accesible mediante Wi-Fi, Bluetooth, puerto serie, Ethernet. Los protocolos necesarios difieren en función de cada uno de ellos, y pueden ser más o menos útiles en función del lugar donde se quiera establecer el laboratorio. Los sistemas inalámbricos reducen el cableado y con ello el coste de instalación y los riesgos de accidentes, pero por

otro lado limitan el rango de uso del equipo y lo exponen a ataques externos a través de Internet, eso implica una mayor inversión en seguridad de redes, [126].

- Herramientas hardware: que son necesarias para interactuar con los equipos robotizados a través de un PC o mediante el empleo de dispositivos móviles. Pueden ser desde un simple cable USB hasta hardware concreto como los ya citados Arduino, Raspberry Pi, BeagleBone, PCDuino y similares, que faciliten o gestionen las comunicaciones con el equipo robotizado, o soporten su programación.
- Hardware propietario del propio equipo robotizado: que implica contacto directo con el fabricante y/o suministrador cada vez que se quiera hacer algún cambio en el equipo. En algunos casos pueden existir determinadas restricciones o la pérdida de la garantía del fabricante si se manipula sin permiso el equipo, [107].

Por otro lado en el caso del software también debemos tener en cuenta:

- El uso de software propietario: aportado por el fabricante y/o suministrador que requiere licencias de uso o que necesita de autorización para realizarle modificaciones que permitan o faciliten la integración del equipo robotizado en el sistema.
- El uso de software libre: generalmente de uso gratuito, aunque no siempre, pero a veces con determinadas limitaciones de cara a la resolución de problemas a la hora de interactuar con el hardware del equipo robotizado.
- Uso de software específicamente diseñado para ese equipo robotizado: por un tercero o de manera puntual. En ese caso la tarea más ardua se centra en estudiar el código fuente, entenderlo y comprobar si es posible adaptarlo para facilitar la integración del equipo robotizado.

En ambos casos, hardware y software, la documentación disponible, la antigüedad del equipo robotizado, la existencia de manuales, foros de información en Internet y pruebas o desarrollos previamente realizados con ese mismo equipo robotizado, van a ser cruciales a la hora de facilitar la integración.

El hardware y software libre gozan de unas características que permiten conseguir una mayor información en menos tiempo:

- Su bajo coste: que permite una expansión del producto más rápida. Si bien es cierto que su bajo coste implica desarrollos que se van corrigiendo y mejorando en versiones sucesivas habiendo sido testados incluso por los propios usuarios, también permite personalizar de manera cómoda y sin el pago de licencias, desarrollos que de por sí son suficientemente potentes, incluso para el uso industrial, [127].
- ✓ Sus comunidades de soporte: que, muchas veces, mediante el sistema de “prueba y error”, [128], aportan experiencia, éxitos y fracasos con los que aprender mucho más rápidamente. En este caso es recomendable atender a la búsqueda y el análisis, con cautela, de toda la información encontrada, ya que en mucha

ocasiones esta resulta obsoleta o no responde a experiencias o soluciones debidamente probadas. El mejor itinerario es acudir a las FAQ oficiales y a continuación a los *post* más actuales de los foros de ayuda. Revisar las fechas de toda la documentación encontrada, y comprobar las versiones del producto y firmware a las que está referida, puede solucionar, y evitar, muchos problemas.

Una vez más la tecnología actual juega un papel fundamental para que la tarea de desplegar un laboratorio de robótica de manera remota sea viable, o indicativa de que su complejidad impida llevarla a cabo.

3.6. Conclusiones

Los avances tecnológicos modifican el entorno. Esta nueva revolución industrial en la que los robots aparecen como instrumentos colaborativos y herramientas avanzadas lleva incorporada una vertiente económica y de eficiencia que busca el mayor conocimiento de los equipos robotizados como medio para un mejor aprovechamiento de sus posibilidades.

Pero sin un adecuado arsenal de información, hardware y software será muy difícil llevar a cabo un proceso de integración a un coste reducido y en un tiempo adecuado. Para ello las tecnologías actuales se convierten en un instrumento de información que permitirá combinar el hardware más idóneo con el software adecuado para proceder a una integración del equipo robotizado.

El hardware y el software libre constituyen una herramienta idónea para ahorrar costes y buscar esa eficiencia ya citada, a costa de navegar entre cantidades ingentes de información y “separar el grano de la paja” extrayendo la información más actualizada y precisa frente a la obsoleta o inconsistente.

Todo con el objetivo de desarrollar un sistema que permita desplegar un laboratorio remoto de una manera sencilla para el usuario que lo administrará, y perfectamente transparente para el usuario que disfrutará del mismo para continuar aprendiendo y conociendo a los robots.

“I don't need to know everything, I just need to know where to find it, when I need it.”

[No necesito saberlo todo, solo necesito saber dónde encontrarlo cuando lo necesito.]

— *Albert Einstein*

Capítulo

4

4. SiLaRR: Laboratorio remoto de robótica escalable, versátil y modular

El desarrollo de SiLaRR se ha orientado a permitir y facilitar la instalación e integración de laboratorios remotos de robótica y facilitar la evolución de los mismos de una manera sencilla y práctica.

Para ello se establecieron unas especificaciones básicas, frente a los diferentes aspectos expuestos en el capítulo anterior, que han permitido realizar un recorrido que cubriera la mayor parte de las opciones y tecnologías disponibles.

4.1. Especificaciones del sistema

Para el desarrollo de SiLaRR se ha procedido a analizar determinados conceptos clave, que habiendo sido citados en los capítulos anteriores, se resumen a continuación:

- ✓ La robótica y la automatización se están asentando cada vez más en nuestras vidas. Desde usos industriales, hasta domésticos, pasando por utilidades formativas. Es esencial una adecuada comprensión de dichas disciplinas.
- ✓ Los laboratorios han sido siempre la forma más adecuada de simular situaciones que luego se podrán trasladar al mundo real. En el caso de la robótica, cuanto más cercanas estén estas situaciones al usuario, habrá una mejor comprensión del objeto de estudio.
- ✓ La sociedad actual requiere del uso de sistemas para simplificar e integrar el aprendizaje. Los sistemas remotos facilitan ese proceso. Un laboratorio remoto permitirá trasladar el aprendizaje a cualquier usuario en cualquier parte del mundo.
- ✓ La manipulación de elementos robotizados; estáticos, móviles o interactivos; tiene aplicaciones a nivel educativo, médico, militar, industrial, empresarial y agrario. Reduce el riesgo del usuario y permite al mismo realizar actividades en situaciones de temperatura extremas o entornos peligrosos.

- ✓ Equipo cliente/servidor, comunicaciones seguras, gestión de usuarios, control remoto, supervisión, aspectos formativos, ingeniería telemática, acceso mediante terminales fijos y móviles, sistema de comunicación bidireccional y reutilización de desarrollos ya en el mercado para reducir los costes de implementación y generar economías de escala, han sido la base de este proyecto.

Objetivo: Escalabilidad y eficiencia en el uso de laboratorios remotos de robótica como medio de formación para aplicaciones educativas, industriales, sociales, médicas y militares.

Para definir y compartimentalizar el desarrollo, se ha procedido a establecer una jerarquización expresada mediante las siguientes cuestiones:

- ✓ ¿Es necesaria la formación como herramienta integradora?
 - La introducción de la robótica y automatización en las empresas, industrias, universidades y centros educativos requiere de una adecuada comprensión de su papel por parte de los usuarios de la misma. Solo a través de la formación se puede conseguir ese objetivo.
- ✓ ¿Cómo se llega a la comprensión del equipo robotizado?
 - Uso directo: Manipulación y percepción directa de los límites reales de actuación y de su utilidad en el entorno de trabajo.
 - Concepto de herramienta: Acercamiento al robot como una herramienta en sí misma. Puede ser una herramienta educativa, industrial, militar, social o lúdica, pero en todo caso busca facilitar el trabajo del usuario que la manipula.
 - Interacción remota humano-robot: Sustituye y/o complementa a la interacción *in situ* cuando ésta no puede darse, facilitando así al usuario la manipulación del robot y su acercamiento a la utilidad del mismo.
- ✓ ¿Cómo definimos las ventajas del sistema?
 - Comodidad y seguridad: El uso del robot, de forma remota, permite realizar tareas de manera cómoda y segura. Desde un terminal móvil, *smartphone*, un portátil o un PC y sin trasladarnos al centro de trabajo, podremos realizar las tareas asignadas y cumplir con nuestras obligaciones.
 - Reutilizable: El sistema remoto se convierte en reutilizable y escalable facilitando el uso del mismo por cualquier operador que esté autorizado con solo permitir el acceso a nuevos terminales cliente.
 - Escalable: Solo requiere para ello añadir un nuevo robot al sistema o bien conectar un nuevo servidor al mismo para habilitar un laboratorio nuevo.
 - Modularidad: El sistema permite la inclusión de nuevos módulos complementarios al primero de una manera rápida y adaptable, ya que el

software utilizado no depende directamente del hardware o del robot a utilizar.

- Disponibilidad: 24 horas al día los 365 días del año. El sistema permite la disponibilidad completa del equipo del laboratorio para que el usuario lo ajuste a sus necesidades de tiempo y uso.
- Adaptabilidad: Con los ajustes adecuados, el sistema se puede adaptar a casi cualquier tipo de laboratorio.
- Seguimiento: Si se desea, los datos de cada usuario referentes al uso del sistema pueden quedar registrados para hacer un estudio personalizado de los mismos.

✓ ¿Cuáles son las funciones el sistema?

- Comunicación del sistema: Existencia de un servidor que se encontrará físicamente en el laboratorio real. A él se conectará de manera remota, un terminal cliente desde el que el usuario podrá manipular el robot en tiempo real.
- Software: Permitirá la manipulación del robot y de una webcam mediante una página web que gestionará y controlará la interacción del usuario. Lenguajes como PHP, JavaScript, Java, HTML, MySQL, etc., se encargarán de permitir y validar los accesos e implementar los controles de esta aplicación.
- Seguridad: El uso de una base de datos permitirá asignar autorizaciones y supervisar el uso del sistema por parte de los usuarios mediante la aplicación de los sistemas criptográficos habituales en comunicaciones vía remota.
- Comunicación con el robot: Desde el equipo servidor al robot, podrá ser vía cable (USB/COM/Ethernet) o inalámbrica (Wi-Fi/Bluetooth). Se puede realizar mediante el uso del propio software del robot a utilizar; si es que posee alguno; o bien mediante el diseño de una API personalizada para controlar las funciones del mismo.
- Robot: Puede ser de varios tipos; de ahí la escalabilidad y modularidad del sistema; brazo robotizado, *picking*, antropomorfo, móvil, aéreo, submarino, etcétera. Cada laboratorio requerirá uno u otro tipo de robot, o varios de ellos.
- Interacción con el robot: Recibirá las órdenes directamente desde el propio equipo servidor una vez sean éstas cargadas en la web mediante el uso del terminal cliente por parte del usuario remoto.
- Interacción con la webcam: La página web permitirá al usuario vigilar los movimientos del robot mediante la manipulación remota de la webcam que se encontrará en el laboratorio físico conectada al servidor.

- Estados: Definen las distintas situaciones posibles para el robot. El usuario podrá modificar dichos estados que estarán limitados por su autorización de acceso al sistema. Algunos de esos estados podrían ser: avanzar, girar, abrir y cerrar pinza, etcétera.
 - Interacción humano-robot con resultado inmediato: Convierte al robot en extensión del ser humano que lo controla. Esta extensión es tanto de localización (el robot sitúa al humano dónde éste querría estar físicamente) como de uso (el robot realiza las actividades que el humano quiere realizar en ese momento), y el resultado es inmediato y verificable (mediante la visualización vía webcam).
- ✓ ¿Qué utilidades tiene este sistema?
- Educativas/Formativas: En el actual marco del EEES se prima la práctica en el proceso formativo, [129], [130]. Este sistema permite gestionar las horas y actividades de prácticas y evaluar las mismas de manera objetiva. Su utilidad será visible desde estadios formativos básicos, colegios, escuelas, hasta otros más especializados ya que al mismo tiempo permitirá que los alumnos de grados tecnológicos realicen actividades de laboratorio que de otra manera y por imposibilidad geográfica u horaria no podrían llevar a cabo, [131].
 - Industrial: Permite la formación de empleados en el uso de nuevas herramientas robotizadas y el acceso a laboratorios y entornos de trabajo vía remota facilitando el teletrabajo y favoreciendo la conciliación de la vida laboral y familiar. Así mismo facilita la integración del trabajador en un entorno robotizado.
 - Médicas: Presenta una nueva opción para la medicina mediante asistencia remota.
 - Sociales: Permite el diseño de laboratorios de carácter lúdico que ayuden a familiarizar a niños, jóvenes, adultos y ancianos con las nuevas tecnologías y la robótica, de manera sencilla y práctica.
 - Militares: Permite el control remoto de unidades robotizadas para actuar en lugares de alto riesgo, rescate, exploración o situaciones extremas, sin que el operador corra riesgos.
- ✓ ¿Cuál es el objetivo fundamental de este sistema?
- Desarrollar las posibilidades de escalabilidad y reutilización del software y hardware al máximo para incrementar la eficiencia en el uso y control de equipos robotizados de manera remota, orientándose hacia la formación educativa y la resolución de problemas mediante aplicaciones tecnológicas con interacción humano-robot en tiempo real.

Con todo el análisis anterior se desarrolló el pertinente mapa conceptual (Figura 4.1) que ha servido como itinerario para realizar el desarrollo y la investigación de esta tesis doctoral.

La leyenda de colores muestra la cantidad de áreas tecnológicas que reúne un desarrollo e investigación de estas características, así como las posibilidades que ofrece. Dado este amplio abanico de posibilidades, esta tesis doctoral ha ido profundizando y seleccionando aquellas más críticas, haciendo hincapié en la utilidad práctica y mostrando los usos reales de las mismas, pero sin renunciar a exponer otras alternativas que permitirán, en un futuro, aumentar las posibilidades del sistema SiLaRR.

4.2. Hardware

Desde el primer momento se ha buscado la utilidad del hardware libre como herramienta de implementación. Varias de las razones han sido anticipadas en los capítulos precedentes y se pueden resumir en:

- ✓ Menor coste del hardware por la inexistencia de patentes o licencias, o por su reducido precio.
- ✓ Gran cantidad de información basada en el uso práctico del mismo.
- ✓ Facilidad para personalizar y adaptar el hardware.
- ✓ Funcionamiento testado en entornos muy diferentes, dispares y para utilidades muy distintas.

De la misma forma, este enfoque, cuenta con varios inconvenientes:

- ✓ Pocas veces existe un servicio técnico disponible.
- ✓ Pueden existir problemas a la hora de integrarse en determinados dispositivos, equipos robotizados o sistemas operativos o de comunicaciones.
- ✓ No cuentan con garantía de funcionamiento.

Habitualmente y en entornos educativos, su funcionalidad es suficiente y la extensión de su uso como herramienta de hardware en investigación así lo atestigua, [132]. La mayor extensión de su uso viene dada por la denominada Internet de las cosas (*Internet of things*) en la que Arduino es uno de los representantes del hardware más utilizado, [133], incluyendo desarrollos en los que se utilizan directamente equipos robotizados en laboratorios remotos, [134].

4.2.1. Arduino

La versatilidad de la placa Arduino radica en su hardware, [135]. Técnicamente el Arduino UNO cuenta con un microcontrolador basado en el ATmega328, [136]. Tiene 14 entradas/salidas digitales (de las cuales 6 pueden ser usadas como salidas de potencia), 6 entradas/salidas analógicas, que pueden ser utilizadas también como salidas digitales, un resonador cerámico de 16 MHz, un conector USB, un conector de alimentación *jack*, una cabecera ICSP, que sirve para programar el BootLoader del Microcontrolador ATmega y así poder cargar los programas que se creen en el IDE directamente en el microcontrolador sin tener que necesitar herramientas para programación externa. Sin el BootLoader el ATmega no sería capaz de procesar el código, por eso es necesario incluirlo para que pueda interpretar los programas, recibir y enviar datos por los diferentes puertos o generar señales de control y sobre todo hacer que sea posible la comunicación USB. Y un botón de RESET. Con todo lo necesario para que conectándolo a un ordenador vía USB, reciba la alimentación (o bien vía adaptador AC/DC mediante la toma *jack*) y pueda programarse fácilmente y empezar a utilizarse. Todo ello constituye el corazón y la potencia de este hardware.

El hecho de contar con pines analógicos y digitales permite realizar funciones tan diferentes como el control de motores (sistemas analógicos) o la activación de órdenes de encendido y apagado a través de los mismos mediante pulsos de voltaje LOW-HIGH (sistemas digitales). Esto amplía muchísimo el abanico de usos de un sistema integrado con Arduino UNO. Se deben destacar también otra serie de funcionalidades que hacen de Arduino un hardware de referencia para SiLaRR.

- Filosofía “Plug and Play”: Las características anteriores y la fisiología de la propia placa de Arduino (Figura 4.2) permiten, por una parte una fácil conexión de la placa al PC a través de un sencillo cable USB, pero por otro lado también facilitan la sencilla instalación de otro hardware a la placa simplemente “pinchando” los cables del hardware del laboratorio a los respectivos pines analógicos y digitales de la placa.



Figura 4.2. Placa Arduino UNO R3.

Otra de las ventajas inherentes a este hardware es que cuenta con su propio software y sus propios *drivers* de instalación, que facilitan la instalación de todo el sistema en cualquier PC. Esto hace que el sistema sea compatible con Windows, Linux o Mac OS X.

- Facilidades de programación: Todos los productos Arduino vienen con su propio software de instalación. El software (en el momento de escribir esta tesis doctoral en su versión 1.0.5-r2) contiene todo lo necesario para instalar la placa, el *driver* correspondiente y empezar a programar el Arduino. Contiene incluso ejemplos prediseñados y comentados que el usuario puede modificar y adaptar a sus necesidades fácilmente.

En la Figura 4.3 puede verse una imagen del software. En ella se aprecia claramente que el lenguaje de programación habitualmente utilizado es C, C++ o C#, si bien puede ser utilizado con multitud de otros lenguajes de programación, [137]. De fácil aprendizaje y estabilidad suficiente, el uso de C, o C++, ayuda aún más a generalizar el uso de Arduino para laboratorios que deseen integrar electrónica y software en una misma herramienta.

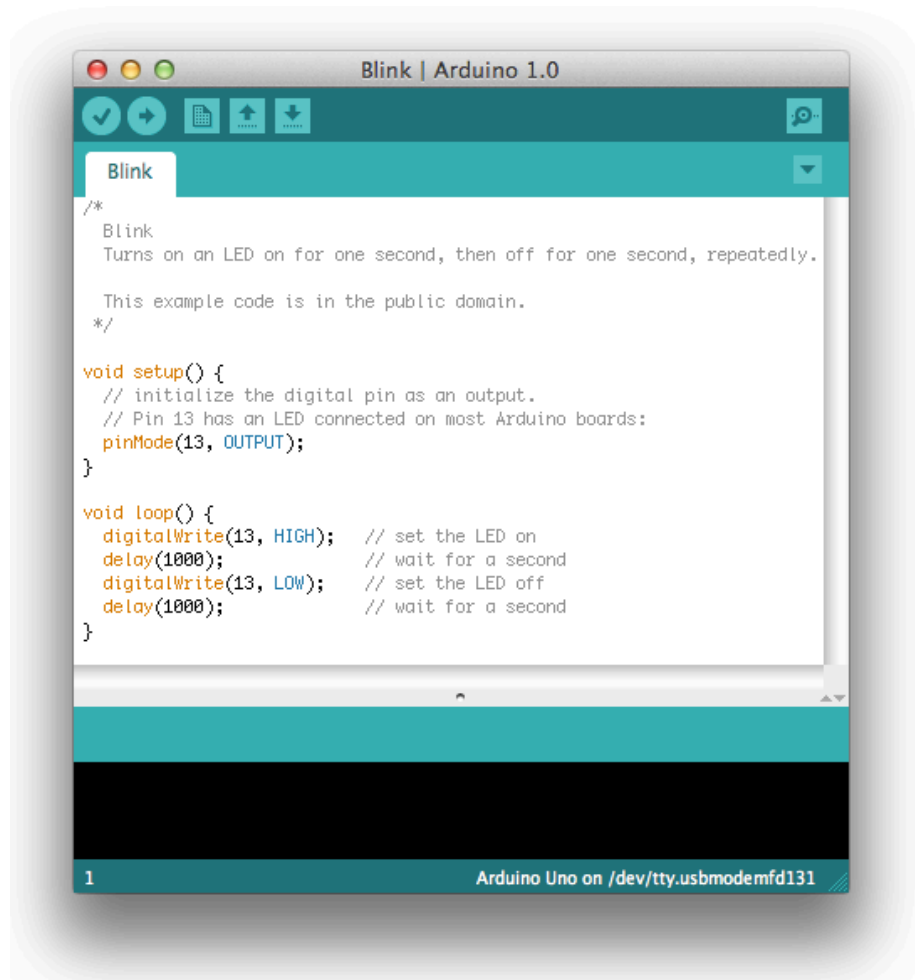


Figura 4.3. Arduino IDE (Entorno de Desarrollo Integrado) en acción.

El uso de Arduino como hardware dentro de SiLaRR por la versatilidad del mismo, no viene solo por su sencillo manejo, su fácil instalación y su capacidad de procesamiento, también existen numerosos *plugins* en el mundo Arduino, que aumentan aún más estas posibilidades. Algunos de ellos son los relacionados con las comunicaciones. Un mismo laboratorio conectado por puerto USB; en función de sus características específicas; podría también configurarse para ser utilizado mediante:

- ✓ **Comunicación Wi-Fi:** utilizando para ello el *shield* Wi-Fi de Arduino (Figura 4.4). Mediante este dispositivo y unos pequeños ajustes en el código cargado en la placa se puede conseguir la misma funcionalidad de comunicación vía USB, pero con la libertad que proporciona la disponibilidad del hardware sin hilos, con lo que eso supone para un laboratorio remoto, [126].

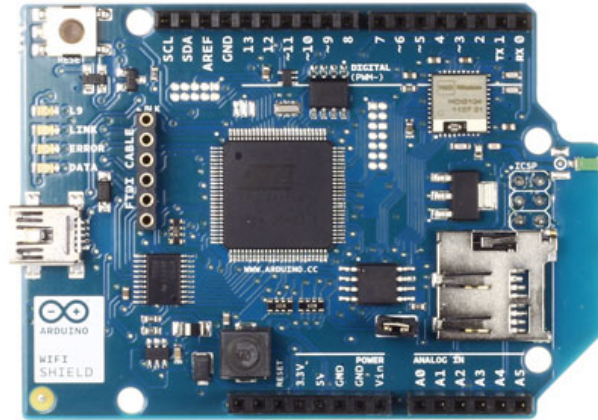


Figura 4.4. Shield Wi-Fi de Arduino.

- ✓ **Comunicación Ethernet:** de la misma manera y también modificando el código cargado en la placa Arduino, se puede utilizar un *shield* Ethernet (Figura 4.5) para gestionar el equipo robotizado y utilizar las opciones que este hardware permite.

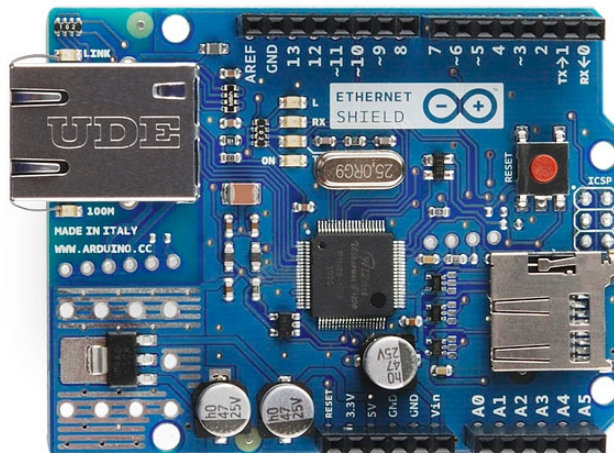


Figura 4.5. Shield Ethernet de Arduino.

La posibilidad de uso de los diferentes pines con los que cuenta la placa Arduino permite conectar gran multitud de laboratorios con solo decidir que conexiones serían necesarias para activar una señal como LOW-HIGH o, con algunos *plugins*, cómo se desea activar determinado tipo de sensores o motores. Además, el gran número de placas Arduino disponibles en la actualidad: Mega, Due, Leonardo, Mini, Fio, LilyPad, Nano, Pro, etc., y sus diferentes *shields* y complementos, así como la capacidad de personalización que permite la liberación de su *datasheet*, [138], (algunos ejemplos de ellos son PCduino, [139], o Freduino, [140]), junto con su precio, ha convertido este hardware en uno de los más versátiles del mercado.

4.2.2. Raspberry Pi

Es otra de las posibilidades actuales cuando hablamos de hardware libre. Sus especificaciones van orientadas a la configuración de una placa con sistema operativo

incluido. En este caso las posibilidades de uso se concretan en pines digitales, lo cual constituye un hándicap para sistemas con necesidades analógicas. Su mayor ventaja es la orientación hacia utilidades relacionadas con la imagen, debido a su mayor capacidad de procesamiento frente Arduino.

Su diseño consta de un chip Broadcom BCM2835 que cuenta con una CPU ARM1176JZF-S a 700 MHz, con la posibilidad de aplicar modos turbo de hasta 1 GHz. En el momento de escribir esta tesis doctoral, cuenta con una unidad de procesamiento gráfico de 512 MB de RAM, con salida de vídeo HDMI. El sistema operativo lo lleva instalado en una tarjeta SD y actualmente es una variante del Linux Debian denominada Raspbian, aunque se le pueden instalar otros Sistemas Operativos como RISC OS 5, Arch Linux ARM, Slackware Linux y Pidora. Actualmente se está trabajando en otros sistemas operativos portables.

A diferencia de Arduino en Raspberry Pi se potencia el uso de Python, si bien puede ser utilizada con Tiny BASIC, C y Perl, [141].

Su objetivo básico es potenciar la educación y divulgación de la informática y tecnologías de la computación. Si bien posee un foro y una comunidad de usuarios y desarrolladores, [142], en este caso no se ha liberado ni se tiene previsto liberar el *datasheet* para el SoC BCM2835, con lo que se reducen las posibilidades de permitir la portabilidad a otros sistemas operativos fácilmente, y de replicar la placa, como sí ha ocurrido con Arduino y sus distintas variantes.

La propia estructura de la placa (Figura 4.6) difiere bastante de la de Arduino. Si bien la de Arduino tiene una orientación basada en el hardware, dejando la integración al usuario, Raspberry Pi defiende una integración basada en el software, distribuyendo su producto como un PC del tamaño de una tarjeta de crédito. En el caso de Raspberry Pi solo están disponibles pines digitales con una potencia de 3,3 V, [143]. Esas características limitan su uso como herramienta de integración hardware, pero facilitan su empleo como módulo de software.



Figura 4.6. Raspberry Pi Modelo B.

Esa misma idea se refuerza cuando se analizan las diferentes herramientas complementarias que se distribuyen como accesorios de la placa, como llaves Wi-Fi, cámaras web, teclados y ratones USB, etcétera. Actualmente se ha extendido su uso en Reino Unido como herramienta para enseñar a los niños programación, [144].

Dado que su funcionamiento se equipara a un PC con su propio sistema operativo (Figura 4.7), permite interactuar a cierto nivel con otro hardware como el propio Arduino.

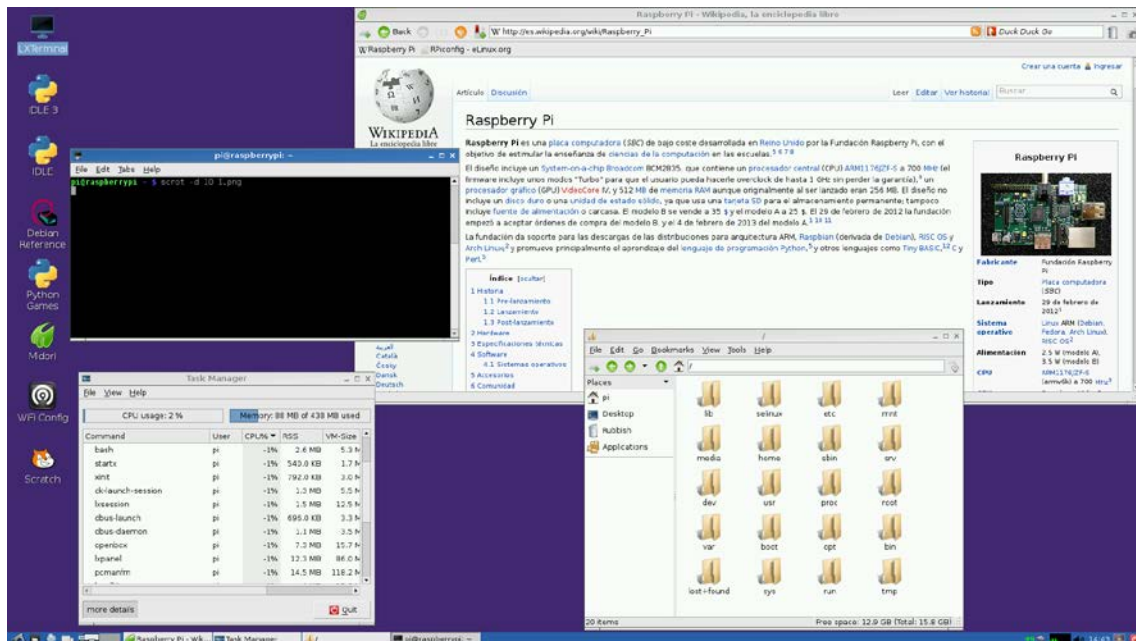


Figura 4.7. Sistema Operativo Raspbian integrado en la tarjeta SD de Raspberry Pi.

Como puede apreciarse, es un enfoque más centrado en el software que en el hardware, pero igualmente útil a la hora de promover la divulgación y aprendizaje de la tecnología.

4.2.3. BeagleBone

Como complemento a las dos opciones antes citadas han surgido proyectos híbridos que intentan combinar lo mejor del hardware y del software, entre ellos cabe destacar BeagleBoard, [145], y sus placas BeagleBone, [146].

De la mano de Texas Instruments nace este desarrollo que busca comercializar placas de bajo coste con una estructura de PC. Con la misma filosofía que Raspberry Pi se desarrolla sobre un modelo que soporta diferentes lenguajes de programación (C, C++, Python, Perl, Ruby), en este caso el modelo BeagleBone Black, que cuenta con un microprocesador embebido en un SoC TI AM3359 con una CPU a 1 GHz ARM Cortex-A8, y una unidad gráfica PowerVR SGX530, [147]. La diferencia con Raspberry Pi es el gran número de zócalos disponibles para las conexiones hardware (Figura 4.8), ese detalle acerca esta placa, desde el punto de vista de la integración vía hardware, a las posibilidades de Arduino.

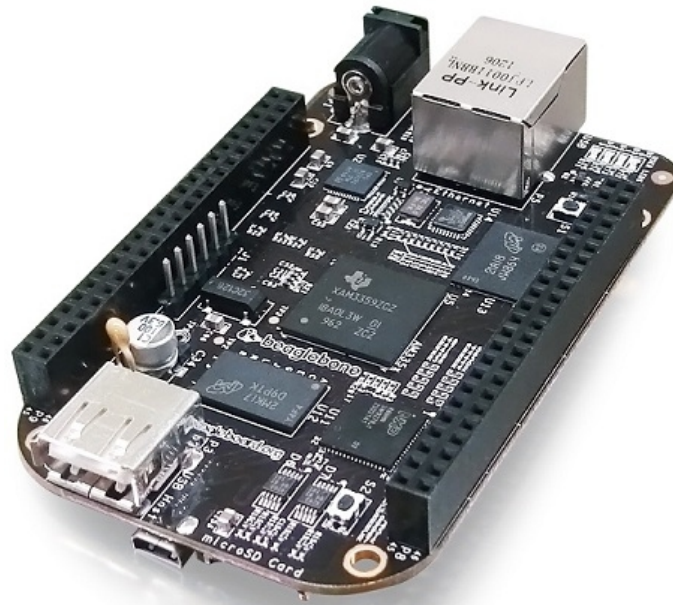


Figura 4.8. BeagleBone Black.

Su versatilidad le permite soportar sistemas operativos muy diferentes que van desde Fedora, Android, Ubuntu, OpenSUSE y Ångström (Figura 4.9), pasando por FreeBSD, NetBSD, OpenBSD, QNX, MINIX 3, RISC OS, y hasta Windows como Sistema embebido.

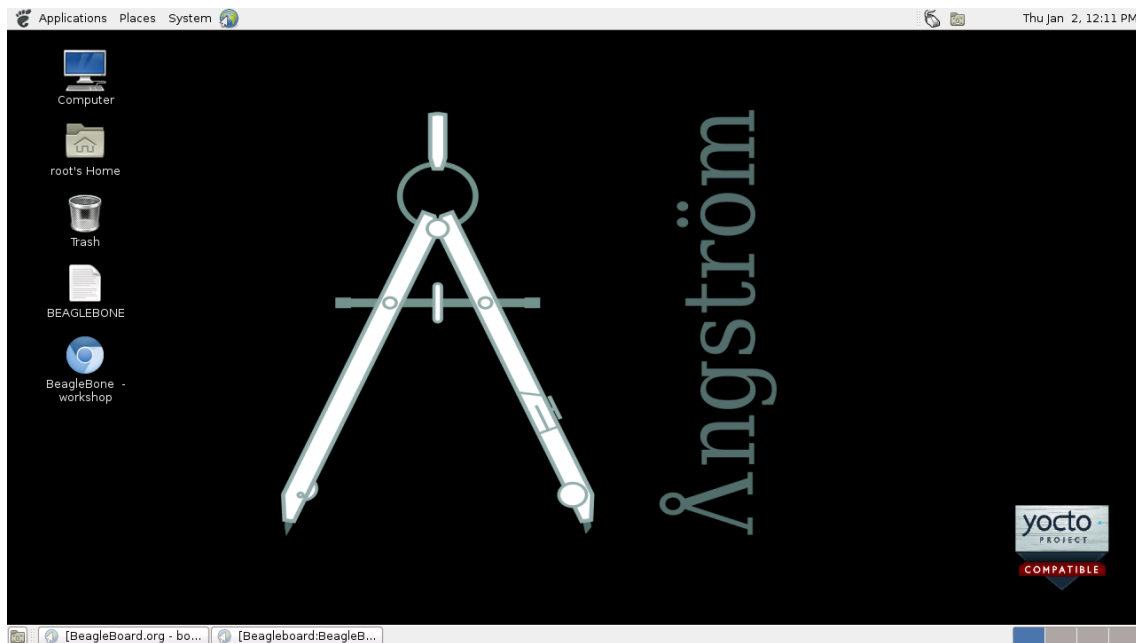


Figura 4.9. Sistema operativo Ångström integrado en la tarjeta SD de BeagleBone Black.

También en este caso existe la compatibilidad con Arduino. Aquí es donde BeagleBone despliega su capacidad para desarrollo de hardware. Si bien debe tenerse en cuenta que en el caso de BeagleBone la potencia lógica es solo de 3,3 V y no soporta los 5 V que sí permite Arduino. Los zócalos laterales de BeagleBone Black permiten conectar numeroso hardware y desarrollos en *protoboard* así como diferentes tipos de sensores, LEDs, etcétera.

Al igual que Arduino, BeagleBone cuenta con pines analógicos y digitales. En el caso de los analógicos la potencia de entrada oscila entre 0 V y 1,8 V, algo a tener en cuenta de cara a conservar la integridad de la placa, [148]. En definitiva, una placa que aúna la integración de hardware de Arduino y el soporte con sistema operativo embebido de Raspberry Pi. Lo mejor de los dos mundos de la mano de Texas Instruments, [149].

Arduino, Raspberry Pi y BeagleBone, tres filosofías distintas pero con un único objetivo, facilitar el uso de la tecnología desde una perspectiva práctica y económica.

4.3. Software

Pero por sí mismo el hardware no sería suficiente. Es necesario establecer una determinada programación de acciones y eventos y dotar al sistema de un entorno sobre el que trabajar. Para ello es necesario contar con el software adecuado.

Al igual que en el caso anterior, la investigación se ha desarrollado utilizando software libre siempre que ha sido posible. Como en el caso del hardware, el software libre cuenta con gran cantidad de información sobre su utilidad y casos de uso, dispone de comunidades estables que facilitan su desarrollo y mejoran su rendimiento, y su coste es reducido o, en algunas ocasiones, gratuito.

4.3.1. Apache

El servidor HTTP Apache (Figura 4.10) es un servidor web HTTP de código abierto, para plataformas Unix (BSD, GNU/Linux), Microsoft Windows, Macintosh y otras, que implementa el protocolo HTTP/1.12 y la noción de sitio virtual.

El servidor Apache se desarrolla dentro del proyecto HTTP Server de la Apache Software Foundation. Presenta entre otras características altamente configurables, bases de datos de autenticación y negociación de contenido. Es software libre y gratuito y puede descargarse desde su página oficial, [150].



Figura 4.10. Logotipo de Apache.

Apache, actuará como soporte del sistema SiLaRR. Será el servidor de referencia y permitirá configurar su acceso vía remota y local. Se ha elegido por su generalización, uso y capacidad modular. En este desarrollo se ha utilizado Apache 2.4.2.

4.3.2. PHP

PHP (Figura 4.11) es un lenguaje de programación de uso general de código del lado del servidor, originalmente diseñado para el desarrollo web de contenido dinámico.

Fue uno de los primeros lenguajes de programación del lado del servidor que se podían incorporar directamente en el documento HTML en lugar de llamar a un archivo externo que procesara los datos. El código es interpretado por un servidor web con un módulo de procesamiento de PHP que genera la página web resultante. PHP ha ido evolucionando en el tiempo y actualmente incluye también una interfaz de línea de comandos que puede ser usada en aplicaciones gráficas independientes.

Puede ser usado en la mayoría de los servidores web al igual que en casi todos los sistemas operativos y plataformas, sin ningún coste.

Como en el caso anterior puede descargarse y usarse gratuitamente desde su página web oficial, [151].



Figura 4.11. Logotipo de PHP.

Es necesario para ejecutar el código PHP dentro del servidor y mostrar la web al exterior. Se combinará con librerías concretas para soporte de jQuery, jQuery Mobile y HTML5. Su elección se ha realizado pensando en su gran capacidad de adaptación, la gran cantidad de documentación existente y su generalización en Internet. En este desarrollo se ha utilizado PHP 5.4.3.

4.3.3. MySQL

MySQL (Figura 4.12) es un sistema de gestión de bases de datos relacional, multihilo y multiusuario con más de seis millones de instalaciones. MySQL AB (desde enero de 2008 una subsidiaria de Sun Microsystems y ésta a su vez de Oracle Corporation desde abril de 2009) desarrolla MySQL como software libre en un esquema de licencia dual.

Por un lado se ofrece bajo la GNU GPL, [152], para cualquier uso compatible con esta licencia, pero para aquellas empresas que quieran incorporarlo en productos privativos deben comprar a la empresa una licencia específica que les permita este uso. Está desarrollado en su mayor parte en ANSI C. También es descargable gratuitamente desde su página web, [153].



Figura 4.12. Logotipo de MySQL.

En este sistema, MySQL, permite la gestión de usuarios y autorizaciones para los mismos (tutores, alumnos, administradores) así como la información asociada a

estos y su historial de uso del sistema. Su licencia abierta GPL es acorde con la filosofía de SiLaRR. En este desarrollo se ha utilizado MySQL 5.5.20.

4.3.4. Otro software

Existen suites completas que cuentan con esos tres paquetes de software. En concreto y para este desarrollo se ha utilizado WampServer 2.2 (Figura 4.13), descargable gratuitamente desde su página web, [154].



Figura 4.13. Logotipo de WampServer.

La ventaja de recurrir a esta utilidad completa es que desde un mismo paquete se gestionan las tres herramientas. Si bien, incluso con WampServer es posible configurar individualmente cada herramienta, para desplegar el sistema de una manera cómoda y rápida por usuarios que no necesitan tener elevados conocimientos de informática, se ha preferido esta opción.

De hecho, y gracias a las características del sistema, durante el proceso de instalación se solicitan del usuario administrador todos los datos necesarios para que el despliegue se reduzca a pulsar “Aceptar” en un momento dado.

Por otro lado y para el proceso de desarrollo se han utilizado otras muchas herramientas, de las que se puede destacar las siguientes:

- ✓ Netbeans Developer Tool IDE: disponible directamente y de manera gratuita a través de su página web oficial, [155]. Ha sido utilizado para desarrollar en lenguaje Java, [156], el software de la suite que constituye el núcleo de todo el sistema.
- ✓ Inno Setup: disponible directamente y de manera gratuita a través de su página web, [157]. Este software facilita el proceso de configuración y desarrollo de la herramienta de instalación. Con esta utilidad y programando en lenguaje Delphi, [158], (una variante comercial del lenguaje Pascal), se ha preparado el paquete completo que permite hacer portable e instalable todo el sistema siguiendo los pasos habituales en cualquier proceso de instalación estándar de cualquier software comercial. La programación realizada en el interior de este instalador ahorra mucho tiempo al usuario y permite solicitar a este los datos necesarios y, con ellos, realizar los cambios y configuraciones requeridas para que el software de la suite del sistema pueda desplegarse en el entorno adecuado y con todas las funcionalidades activas.
- ✓ JSmooth: disponible gratuitamente desde su propia página web, [159]. Antigua herramienta, 100% en Java, que a pesar del paso de los años sigue conservando su utilidad como Java Executable Wrapper y que facilita el encapsulamiento de

archivos nativos *.jar en ejecutables *.exe que se pueden abrir en un entorno Windows haciendo doble clic sobre ellos.

- ✓ Notepad++: disponible gratuitamente desde su página web, [160]. Editor de código que ha resultado de utilidad para desarrollar la página web asociada al sistema (con PHP, HTML, JavaScript, y en general AJAX) y personalizar los detalles de configuración necesarios en Apache.
- ✓ jQuery y jQuery Mobile: las librerías de JavaScript facilitadas por jQuery y jQuery Mobile desde su página web oficial, [161], han reducido el tiempo de desarrollo necesario para gestionar los estilos de la página web y facilitar la adaptabilidad de la misma para el uso de ésta por dispositivos móviles.

4.4. Emisión de vídeo en *streaming*

Uno de los principales problemas a la hora de desplegar un laboratorio remoto es precisamente su visibilidad. Actualmente si bien existen foros de trabajo en HTML5 para buscar homogeneizar la emisión y recepción de imagen, audio y vídeo vía Internet, lo cierto es que los citados desarrollos chocan una y otra vez con la pasividad del mercado y la complejidad de instaurar un estándar comercial en este sentido.

La emisión en *streaming* debe tener en cuenta la seguridad como factor importante. No puede ser posible acceder a una cámara web o a una dirección IP de una cámara, si esta no lo ha autorizado previamente a través de un determinado protocolo de comunicaciones.

La implementación se complica aún más cuando las propias cámaras pueden utilizar protocolos de comunicación con el servidor del PC, diferentes. En este desarrollo se han estudiado dos de los más habituales:

- ✓ USB con conexión directa al PC que hace las veces de servidor del laboratorio.
- ✓ Dirección IP proporcionada por la propia cámara web.

Este problema ha sido uno más de los encontrados a lo largo de este proceso de investigación, y tras estudiarlo en profundidad y analizar las posibles soluciones existentes en la actualidad, se ha optado por seguir dos caminos que permitan, en última instancia, facilitar el uso de una cámara web (ya sea conectada al servidor mediante USB, o con una IP disponible) para mostrar el laboratorio por Internet y dotar así a éste de una mayor interacción con el usuario final.

Una primera vía de integración explora las posibilidades de emisión vía HTML5 o Flash. Se muestran las opciones, estándares y soluciones finales funcionales, muy lejos de la teoría idealizada de las propuestas de la estandarización.

Y una segunda vía de integración se centra en la emisión en *streaming* en tiempo real utilizando herramientas de edición de vídeo y atendiendo a la gestión de protocolos de comunicaciones, apertura de puertos e integración en la red local, y externa, con salida a Internet.

Existen otras propuestas e incluso paquetes de software muy cercanos a un sistema operativo completo cuya utilidad es la de actuar como servidor multimedia. Tal es el caso de Open Source Red5 Media Server, [162]. Pero dado que el objetivo principal a lo largo del desarrollo de SiLaRR ha sido siempre el de simplificar y facilitar su uso por parte del usuario, han sido rechazados como herramienta y se ha optado por las opciones propuestas que se analizan a continuación.

4.4.1. Integración con HTML5 o Flash

Por un lado se procedió a analizar las posibilidades de *streaming* utilizando herramientas vía software. Las dos opciones más utilizadas en la actualidad son HTML5 y Flash. Ambas han sido evaluadas y a continuación se desarrollan sus características en lo que a *streaming* de vídeo respecta.

- *Flash*: Adobe Flash, [163], es un software de Adobe que utiliza gráficos vectoriales y rasterizados, sonido, flujo de vídeo y audio bidireccional (si se utiliza junto con Macromedia Flash Communication Server) para desarrollar animaciones o *streaming* de vídeo. Para visualizar y reproducir los archivos generados con este software se requiere de un *plugin* que debe instalarse en el navegador y que se denomina Flash Player.

Los citados archivos tienen generalmente la extensión `*.swf`, o bien `*.flv`, y pueden aparecer embebidos en una página web para ser vistos con un navegador web con el citado *plugin*, o pueden ser reproducidos independientemente por un reproductor Flash.

El código habitual para embeber un archivo de estas características es el descrito en la Figura 4.14.

```
<object
classid="clsid:D27CDB6E-AE6D-11cf-96B8-444553540000"
codebase="http://download.macromedia.com/pub/shockwave/cabs/flash/swflash.cab#version=4
,0,2,0" width="500" height="350">

<param name=movie value="archivo.swf">
<param name=quality value=high>

<embed src="archivo.swf" quality=high
pluginspage="http://www.macromedia.com/shockwave/download/index.cgi?P1_Prod_Version=
ShockwaveFlash" type="application/x-shockwave-flash" width="500" height="350">
</embed>

</object>
```

Figura 4.14. Ejemplo de archivo `*.swf` embebido en una página web con HTML.

En el citado código se especifica no solo el tipo de archivo a reproducir, realizando las llamadas pertinentes al código necesario para hacerlo, sino también el tamaño de la ventana dentro de la página en que se va a visualizar el contenido de dicho archivo (en este caso 500 píxeles de ancho y 350 de alto).

El mayor problema que existe con este tipo de archivos es que no todas las plataformas ni dispositivos los reproducen. El caso más explícito es el de los productos de Apple, [164], que se niega a dar soporte a este formato alegando que ellos utilizan un sistema de codificación de vídeo, el H.264, [165], que es mucho más avanzado que el ofrecido por Flash y no es propietario como este último. Actualmente se está trabajando en el desarrollo del H.265, [166], con un nivel de compresión de vídeo aún más eficiente.

Dados los problemas derivados del despliegue de esta tecnología en el mayor número de dispositivos posibles, y la negativa de Apple a utilizarlo en sus productos, se desarrolló un nuevo sistema que buscaría la estandarización.

Alguna de las opciones del formato flash es el *streaming* de vídeo para emisión de vídeo en chat, [167], si bien es necesario siempre el *plugin* indicado y en este caso software accesorio que encarece la puesta en práctica de esta opción.

- **HTML5:** Nace como una vuelta de tuerca más del lenguaje HTML. En el 2006 se propone un planteamiento que busca ir más allá con el formato HTML. La propia W3C, [168], se interesa por el mismo y comienza a ser utilizado como base del nuevo estándar HTML. Actualmente continúa en desarrollo pero debido a su compatibilidad con los nuevos navegadores y dispositivos lo utilizan de forma habitual muchos desarrolladores. Su mayor problema es la compatibilidad con navegadores antiguos.

Inicialmente este nuevo estándar tenía previsto cubrir las opciones de *streaming* de vídeo y de hecho desarrolló para ello `getUserMedia`, [169]. Esta funcionalidad estaba orientada a permitir la captura y emisión de vídeo en *streaming* en tiempo real.

La complejidad de controlar eventos de vídeo en tiempo real y las crecientes mejoras y exigencias en la seguridad de los terminales, servidores y navegadores de Internet ha hecho que a día de hoy está utilidad que tanto prometía se haya quedado reducida a autorizar el uso de la captura de la imagen de vídeo de la cámara web del usuario en un momento dado. Fundamentalmente para realizar aplicaciones sencillas de video chat, [170].

No obstante, como en el caso anterior, es posible embeber archivos de vídeo, en este caso compatibles con prácticamente todos los navegadores y dispositivos modernos actualizados, incluidos los de Apple.

En la Figura 4.15 se muestra un ejemplo de archivo de imagen embebido. En este caso los formatos son `*.mp4` y `*.ogg`. Actualmente junto con el formato `*.webm` son los tres formatos compatibles con HTML5, si bien no todos los navegadores los soportan, [171].

```
<video width="320" height="240" controls>
<source src="movie.mp4" type="video/mp4"> <source src="movie.ogg" type="video/ogg">
Your browser does not support the video tag.
</video>
```

Figura 4.15. Ejemplo de archivos `*.mp4` y `*.ogg` embebidos en una página web con HTML5.

Ante las diferencias de compatibilidad de formato y dado que el objetivo es que un *streaming* de vídeo sea visto y accesible por el mayor número de personas, en la actualidad se busca utilizar ambos formatos, Flash y la opción para vídeo de HTML5, para Internet. En esa línea se han desarrollado productos como Jwplayer, [172], que alterna uno u otro en función de las capacidades del dispositivo y el navegador, o propuestas abiertas como WebRTC, [173], y Webcamjs, [174], que avanzan en la misma línea.

En definitiva los formatos existentes eran viables para reproducir vídeos pero no solucionaban satisfactoriamente el problema de conseguir una emisión en *streaming* estable que permitiera al usuario ver el laboratorio mientras interactuaba con él.

4.4.2. Integración con VLC y archivos *.*asx o Yawcam

No solo existía el problema de encontrar una herramienta que permitiera emitir vídeo vía Internet, también se tuvo que tener en cuenta que no todos los productos del mercado soportan por igual cámaras con conexión vía USB directamente conectadas al PC, y cámaras web IP con su nombre de usuario y contraseña pertinentes sin comunicación directa con el PC.

En el caso de las cámaras web IP externas normalmente es suficiente con indicar la dirección IP, y el puerto en el que emiten directamente, en el cuerpo del código de la página web de acceso al laboratorio, pero en otras ocasiones, y sobre todo en los casos en que la cámara no es externa, sino que está conectada vía USB a un PC, esto no es posible.

Evaluando las opciones disponibles se tomó la decisión de iniciar una nueva línea de investigación basada en la búsqueda de software específico que pudiera ser utilizado de una manera práctica para la emisión en *streaming*, tanto con cámaras USB como con cámaras IP, y que permitiera superar los problemas motivados por el uso de los formatos de reproducción vía Flash o HTML5.

Analizando los productos de software libre existentes en el mercado y buscando al mismo tiempo funcionalidad y simplicidad se eligieron dos de ellos que permitieron conseguir el objetivo deseado: VLC y Yawcam.

- VLC: Reproductor multimedia desarrollado por VideoLan, [175]. Este software, distribuido bajo licencia GPL, [152], ha ido evolucionando hasta permitir emisiones en *streaming* utilizando diferentes tipos de cámaras web, tanto USB como cámaras IP.

La configuración de VLC para emisión en *streaming* es compleja y requiere de conocimientos de *streaming* y *codecs* de vídeo, así como de análisis y gestión de puertos de router y servidor. No obstante para ello existe una Wiki alimentada desde hace años por voluntarios que han ido desarrollando, para las diferentes versiones de VLC, algunos tutoriales útiles en este sentido, [176].

En el presente caso las pruebas con VLC se realizaron utilizando una configuración de puerto “1234” y mediante la generación de un archivo *.asx con el contenido mostrado en la figura 4.16.

```
<ASX version ="3.0">
<TITLE>Stream on live C-9895 Robot Arm</TITLE>
<ENTRY>
<REF HREF="http://192.168.1.33:1234" />
</ENTRY>
</ASX>
```

Figura 4.16. Codificación de archivo *.asx para lanzamiento de *streaming* de video desde cámara web.

Como puede apreciarse el archivo le indica a VLC que la cámara web conectada vía USB al PC con la dirección IP 192.168.1.33, emite en *streaming* usando el puerto 1234.

Con este archivo se procede a configurar el propio VLC para permitir la emisión en directo. Para ello se selecciona previamente el dispositivo de captura (Figura 4.17), en este caso la cámara SN9C202 conectada vía USB, cuyo nombre se selecciona tanto para la emisión de vídeo como para la de audio.

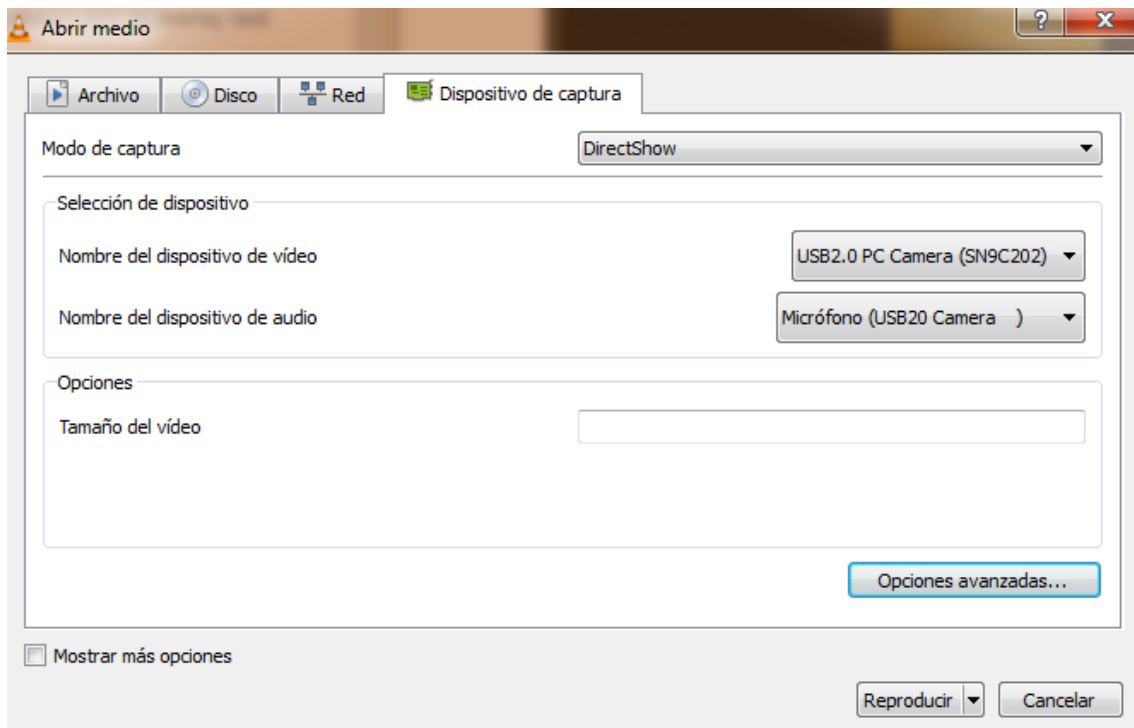


Figura 4.17. Selección del dispositivo de captura de vídeo.

A continuación se selecciona la opción “Emitir”, en lugar de la de “Reproducir” que aparece por defecto, y se nos muestran las opciones de salida de emisión. De las múltiples posibilidades se selecciona la opción de “Añadir” HTTP ya que la emisión se canalizará vía servidor para Internet (Figura 4.18) y se indica el puerto que se va a utilizar para el *streaming*, en este caso, como ya se ha indicado en el archivo *.asx, el puerto 1234. Durante este proceso es recomendable marcar la opción “Mostrar en local” ya que, si bien no es

necesaria para emitir en *streaming*, si ayudará a comprobar que la imagen de la cámara se ha integrado correctamente con VLC.

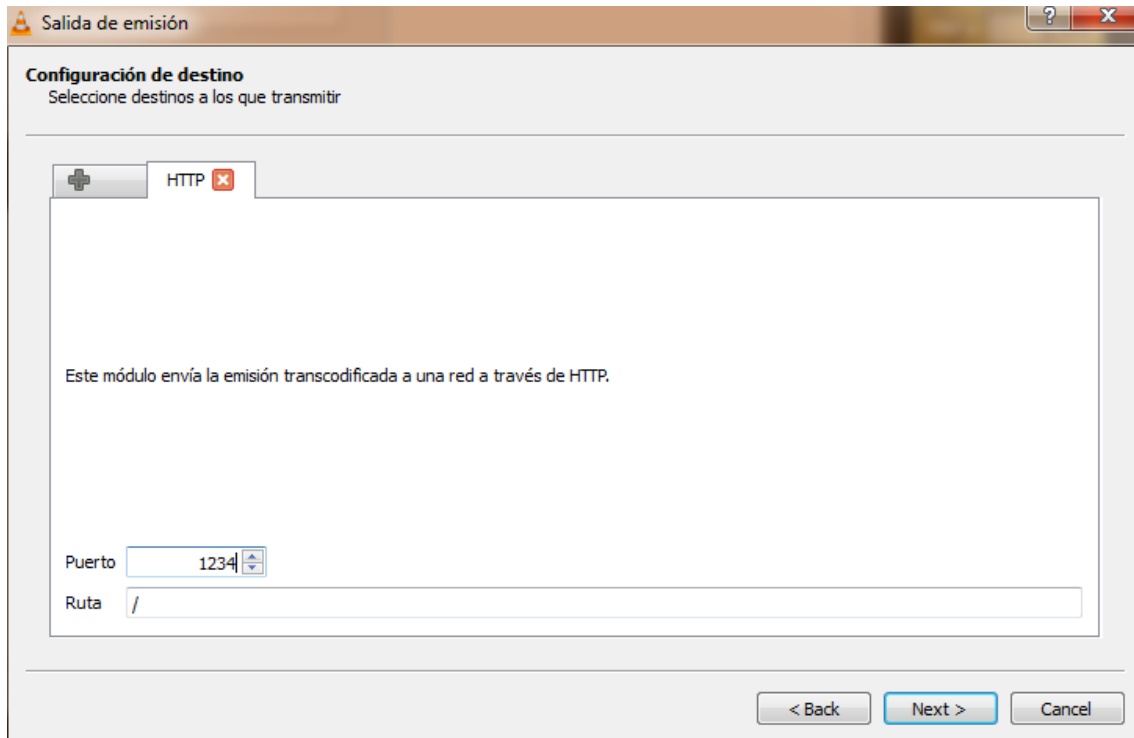


Figura 4.18. Selección de modo de emisión y puerto de salida.

El siguiente paso es especificar el tipo de codificación vídeo/audio que se desea emitir. Dado que para esta configuración se busca reproducir también en Internet Explorer se selecciona el formato ASF con DIV3 para vídeo y MP3 para audio (Figura 4.19).

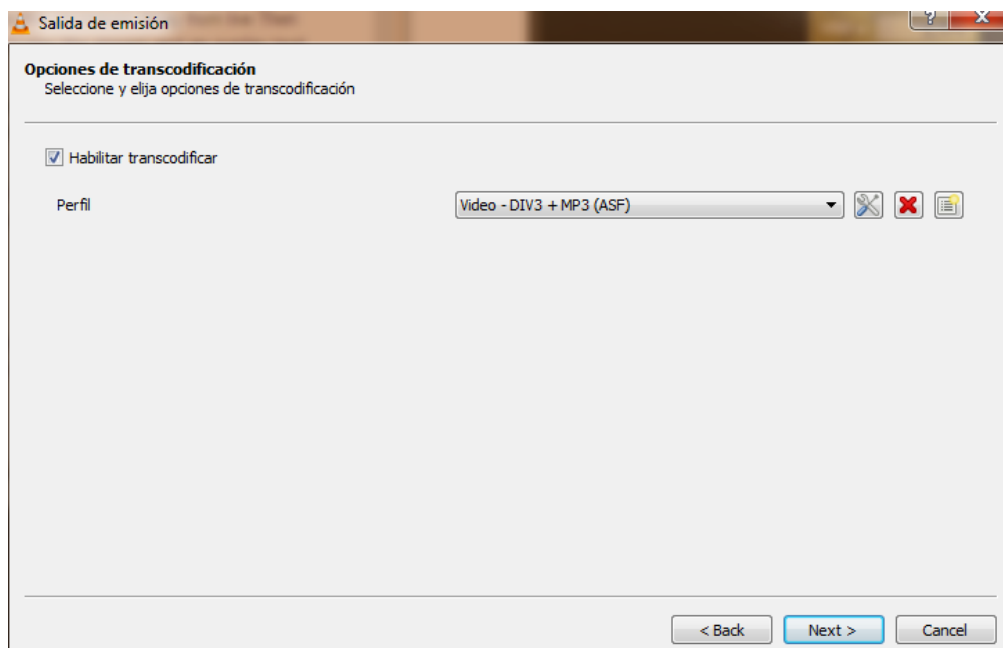


Figura 4.19. Selección de formato de salida de vídeo/audio.

Finalmente ya se está en condiciones de empezar a emitir. En la Figura 4.20 se aprecia como VLC comienza a emitir la imagen directamente desde el reproductor de vídeo, pero se debe recordar que el objetivo era emitir en *streaming* vía Internet utilizando un servidor web.



Figura 4.20. Emisión vía reproductor VLC.

Para integrar la imagen dentro de la página web solo hay que recurrir a código HTML tradicional (Figura 4.21) para llamar al archivo `*.asx` previamente creado.

```
...  
<table>  
  <th scope="col">C-9895</th>  
  <tr><td><embed src="vlclan.asx" height="370" width="400"></td></tr>  
</table>  
...
```

Figura 4.21. Código de llamada al archivo `*.asx` desde HTML.

Precisamente ahí entra en juego el archivo `*.asx` que previamente se ha configurado en el servidor. Si se abre una de las páginas web de SiLaRR se verá como, ahora, el vídeo se reproduce en modo local a través del servidor (Figura 4.22).

En tiempo real se puede ver cómo mientras VLC está mostrando directamente la imagen de vídeo, éste se reproduce en paralelo en la página web alojada en el servidor (Figura 4.23) consiguiendo así el efecto deseado y permitiendo la salida del *streaming* a Internet para que el usuario del laboratorio

pueda ver en todo momento cuales son las evoluciones del robot en base a sus decisiones de movimiento.

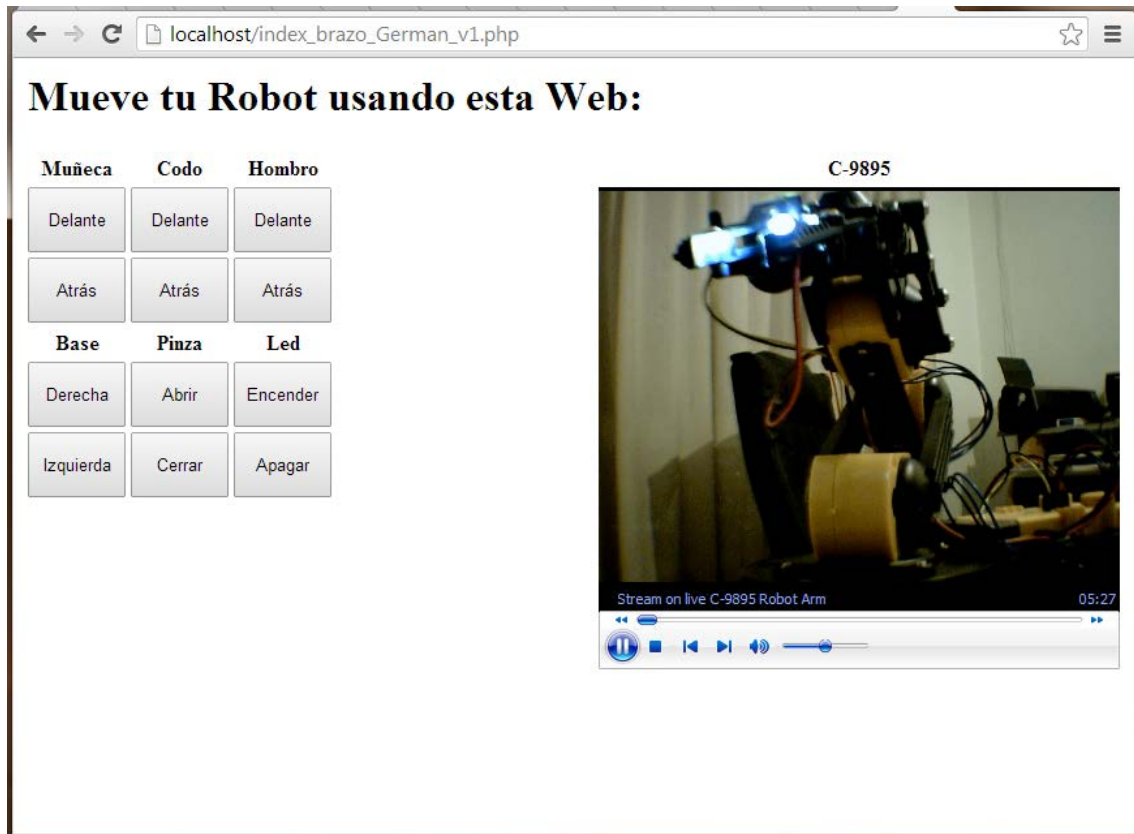


Figura 4.22. Emisión en *streaming* en servidor local usando la web de SiLaRR.

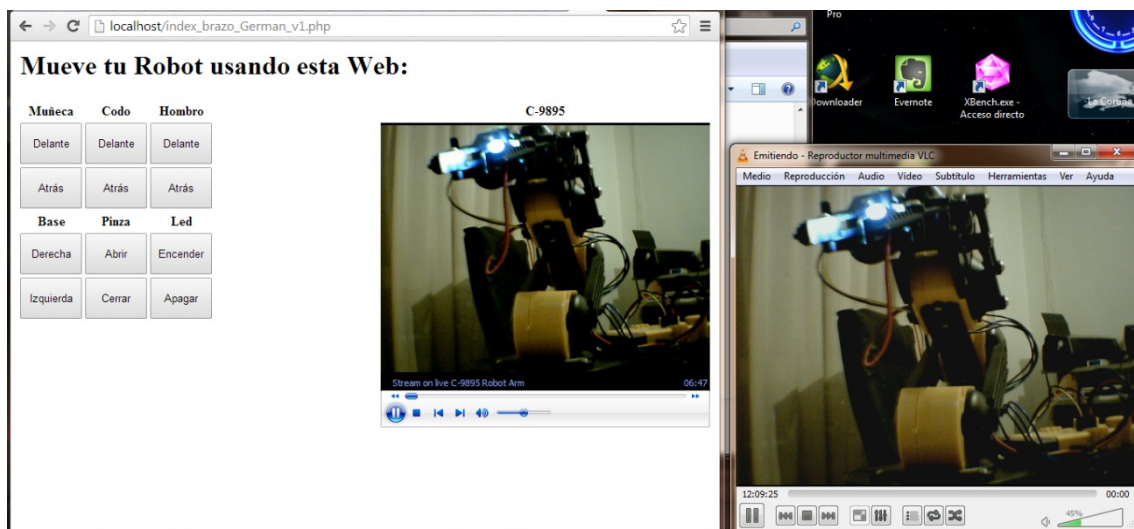


Figura 4.23. Detalle que permite apreciar que lo que está viendo VLC a través de la cámara es lo que se muestra a través del servidor local.

Dado que se está trabajando sobre Windows, el próximo paso sería configurar la salida del servidor local a Internet. Este proceso requiere conocimientos de configuración de cortafuegos y redes. De manera previa se debe permitir a VLC la salida a Internet desde el propio sistema operativo Windows. Para ello se debe ir a la opción de “Firewall de Windows” y

seleccionar “Programas permitidos” (Figura 4.24). Una vez allí se debe localizar el programa VLC y permitir la comunicación de éste a través del cortafuegos.

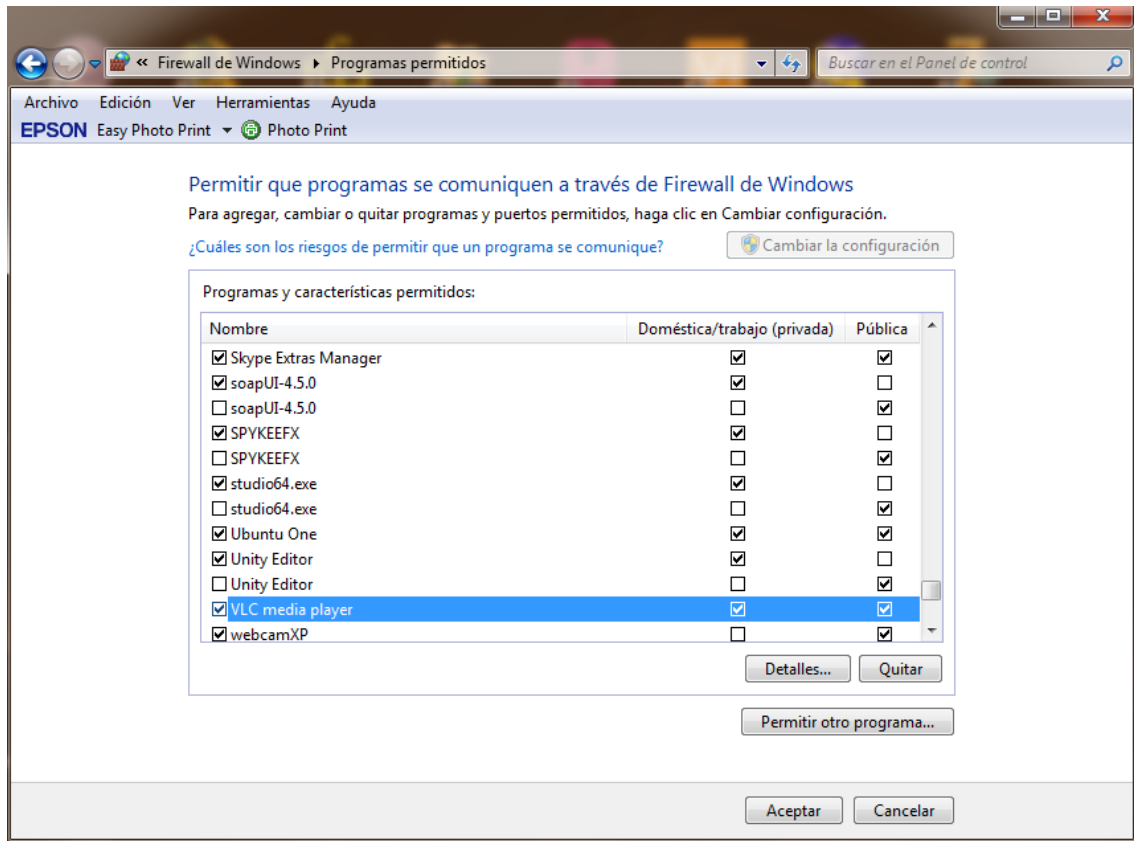


Figura 4.24. Configuración del cortafuegos para VLC.

La configuración posterior será necesario realizarla en el router. Dado que este puede variar y pueden existir multitud de combinaciones y opciones disponibles: router doméstico, proxy empresarial o institucional, servidor propio, etc., habrá que atender a los manuales de configuración del aparato o ponerse en contacto con el personal cualificado necesario para llevar a cabo la apertura de puertos pertinente. En cualquier caso el siguiente proceso sería permitir el acceso desde el exterior al puerto 1234 de la dirección IP ya citada, mediante TCP y UDP.

Realizada dicha configuración el *streaming* será accesible vía Internet con solo escribir en el navegador la dirección IP externa del equipo y se podrán visualizar en directo las imágenes de la cámara USB como ocurría en el servidor local.

VLC puede resultar un programa complejo para aquellos no iniciados en el mundo de la imagen o de los *codecs* de vídeo, pero hay otras alternativas más sencillas y que apenas requieren configuración previa.

En SiLaRR el archivo **.asx* también está automatizado, permitiendo que el usuario, al modificar la dirección IP y el puerto iniciales, pueda ver los nuevos resultados de manera inmediata en el laboratorio ya existente. Debido a esa característica de gestión automatizada de SiLaRR es necesario también modificar la configuración de Apache dentro de WampServer, [177]. Para ello el

usuario deberá añadir la característica de ejecución de PHP en archivos *.*asx dentro del archivo “httpd.conf” pertinente (Figura 4.25). De esa forma los cambios posteriores en la base de datos de un laboratorio referentes a VLC se aplicarán automáticamente al sistema.

```
...
<IfModule mime_module>
#
# TypesConfig points to the file containing the list of mappings from
# filename extension to MIME-type.
#
TypesConfig conf/mime.types
AddType application/x-httpd-php .php .asx
#
# AddType allows you to add to or override the MIME configuration
# file specified in TypesConfig for specific file types
...

```

Figura 4.25. Modificación manual de la configuración de Apache para poder usar *.*asx en SiLaRR con VLC.

- *Yawcam*: Es una de esas opciones que previamente se anticipaban y que no requieren que el usuario conozca a fondo la problemática de la emisión de vídeo en directo. Yawcam, [178], es un software libre y gratuito que permite al usuario conectar una cámara web, si es USB, o localizar una cámara web IP, si es inalámbrica, y utilizarla para emitir vídeo en *streaming* casi de manera automática con unos cuantos clics.

A diferencia de VLC, para ello no se requieren archivos en el servidor, sino simplemente el propio software de Yawcam y unas sencillas instrucciones que permiten localizar la cámara pertinente, asignarle una dirección IP y un puerto de manera automática, y empezar a emitir.

Una vez abierto el software de Yawcam solo se tiene que acceder a la cámara que se desea utilizar para el pertinente laboratorio (Figura 4.26).

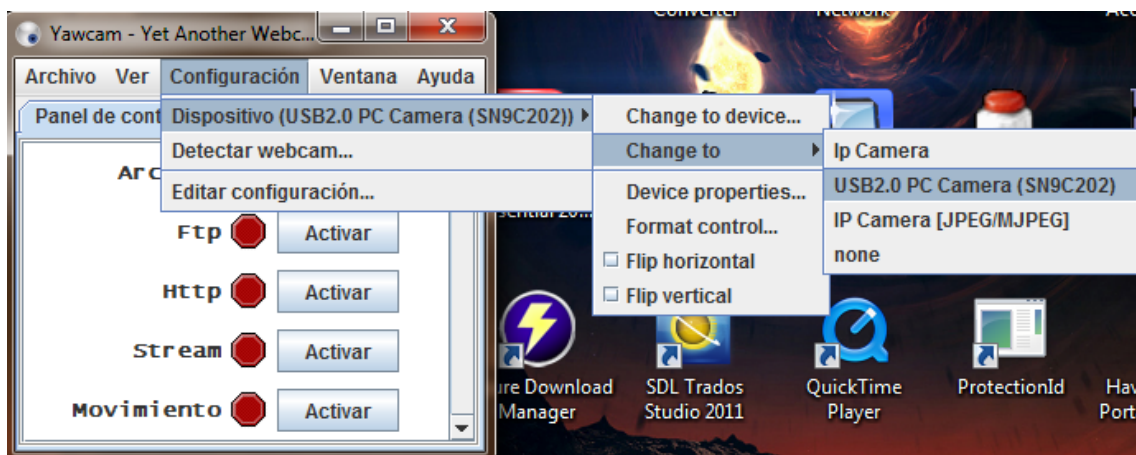


Figura 4.26. Selección de la cámara deseada con Yawcam.

Realizado este paso solo habrá que dirigirse a la sección “Ventana” y allí marcar la casilla de “Previsualización” si se desea comprobar que todo funciona adecuadamente (Figura 4.27). Como en el caso anterior, no es necesario habilitar

la previsualización para emitir en *streaming*, pero si es un método fiable de comprobación del funcionamiento de la cámara.

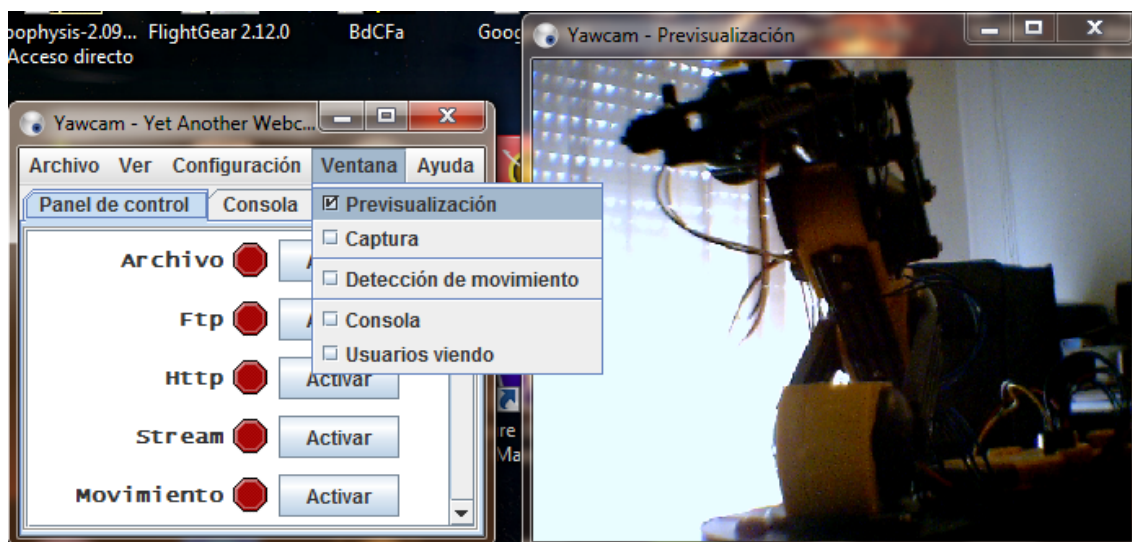


Figura 4.27. Previsualización de la imagen de la cámara desde Yawcam.

El paso siguiente es conseguir la dirección IP de la cámara así como el puerto de emisión. Para eso Yawcam tiene diferentes utilidades. La forma más práctica de acceder a esa información es a través de la sección “Configuración” y desde allí a la sección “Editar configuración”. Se mostrará un cuadro de diálogo con múltiples opciones de las que interesan tres.

Por una parte la sección “Stream” (Figura 4.28) de la que se obtendrá el puerto de emisión, en este caso “8081” y que se puede modificar si se desea. En este mismo cuadro de diálogo se puede seleccionar el tipo de *streaming* (JavaScript o MJPEG), así como otras características de configuración para personalizar la emisión.

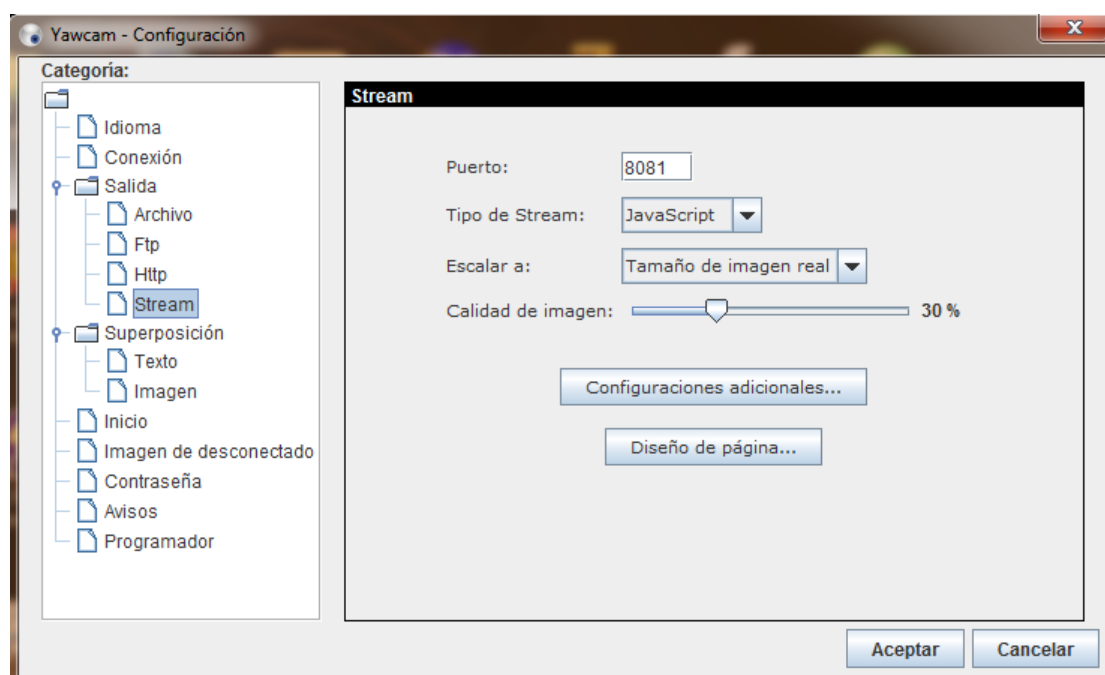


Figura 4.28. Selección de puerto para emisión en *streaming* con Yawcam.

Por otra parte la sección “Http” que indicará la dirección IP que ha sido asignada a la cámara que se está utilizando (Figura 4.29). Yawcam es muy versátil con lo que permite emitir tanto, *streaming* de vídeo, como imágenes fotográficas del vídeo. La sección “Http” se centra en la emisión de dichas imágenes a las que les asigna un puerto de salida “8888”. En este caso y dado que la emisión es en *streaming* con vídeo real, solo interesa la dirección IP “192.168.1.33” y el puerto de salida de *streaming* “8081” previamente definido.

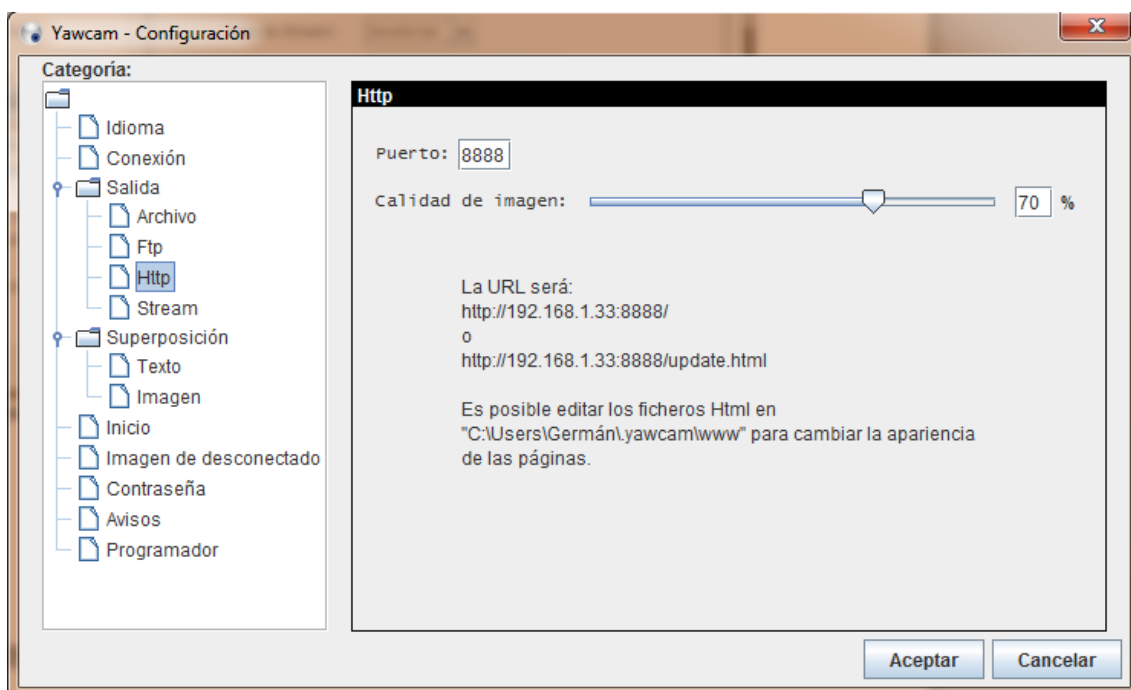


Figura 4.29. Obtención de dirección IP local para emisión en *streaming* con Yawcam.

Por último el propio software de Yawcam facilitará el obtener la dirección IP externa por si lo que se desea es únicamente enviar *streaming* directo desde una cámara web IP interna o externa que no se haya embebido en ninguna web. Para ello utiliza la opción existente en “Conexión”, que permite comprobar cuál es la IP externa en tiempo real, en este caso “88.11.105.56” (Figura 4.30). Herramienta muy útil en el caso de trabajar con IP dinámicas como son las habituales en el ámbito doméstico. En este caso, el puerto también seguiría siendo el empleado en la opción de *streaming*.

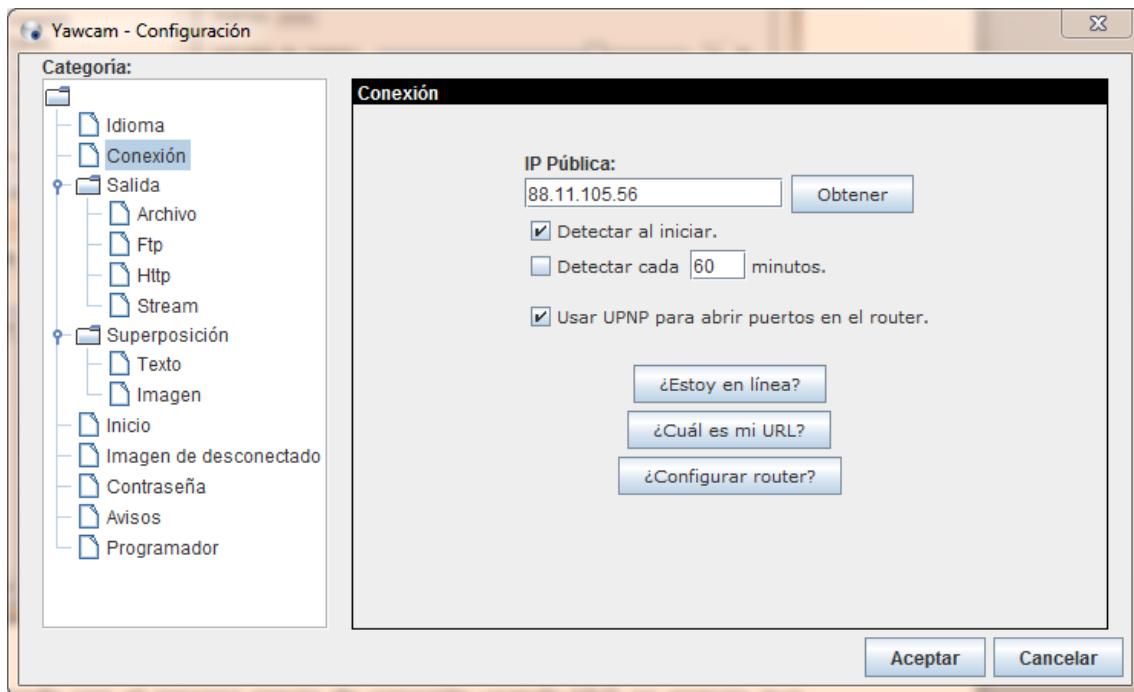


Figura 4.30. Utilidad para la obtención de dirección IP externa para emisión directa.

Al igual que en el caso anterior para integrar la imagen dentro de la página web solo se necesita recurrir a código HTML tradicional (Figura 4.31) pero esta vez será suficiente con indicar la dirección IP y el puerto asignados por Yawcam a tal efecto. Este mismo sistema es el que se utilizaría con cualquier cámara web comercial con IP externa, como ocurre con las tradicionales cámaras de seguridad que funcionan con su propio software independiente. En este caso Yawcam ha conseguido emular una dirección IP para una cámara conectada vía USB que de otra forma sería muy difícil de utilizar para una emisión abierta en *streaming*.

```

...
<table>
  <th scope="col">C-9895</th>
  <tr><td><embed src="http://192.168.1.33:8081" height="640" width="580"></td></tr>
</table>
...

```

Figura 4.31. Código de selección de IP y puerto desde HTML.

Para empezar a emitir habrá que pulsar en el botón “Activar” de la opción “Stream” y desde ese momento se podrá visualizar en *streaming* el laboratorio (Figura 4.32). En el momento en que el sistema empieza a funcionar y carga la imagen de vídeo, se muestra un aviso por pantalla en el que Yawcam indica que un usuario desde una determinada IP se ha conectado al sistema de Yawcam que está emitiendo en *streaming* en ese momento.



Figura 4.32. Streaming de vídeo usando Yawcam con indicación de la IP de conexión del espectador conectado.

Entre algunas de las ventajas de Yawcam se pueden destacar dos que resultan muy prácticas. Por un lado la posibilidad de gestionar directamente el número de usuarios que están conectados en un determinado momento a esa cámara e incluso expulsarlos o prohibir su acceso (Figura 4.33), o incluso conocer el tiempo que un usuario lleva conectado a la cámara.

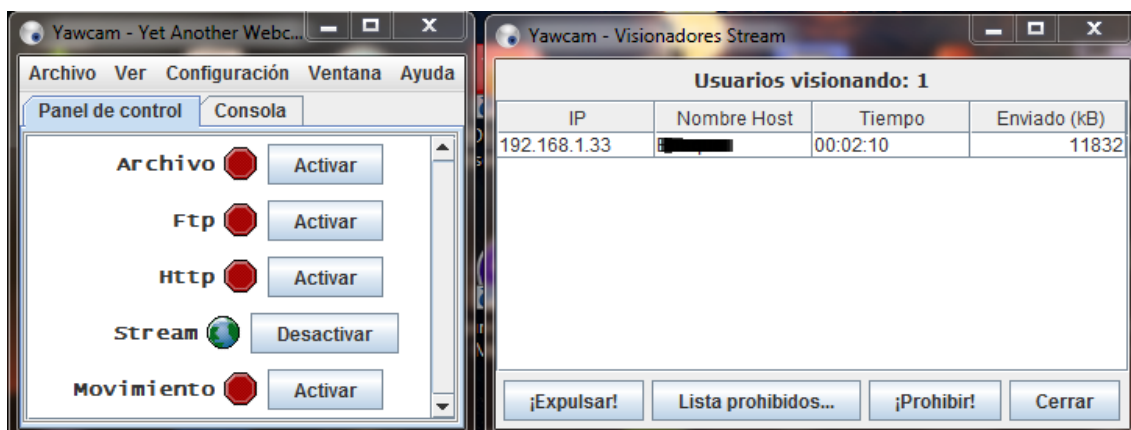


Figura 4.33. Gestión de usuarios que acceden al streaming en un momento dado (el nombre del host se ha ocultado por seguridad).

Por otro lado la posibilidad de gestionar directamente características de la visualización como es ampliar o reducir la imagen, el número de *frames* por segundo, la calidad de la imagen, la impresión de la fecha y hora de la emisión, o incluso el aviso o información que por defecto puede aparecer en el *frame* que contiene a la imagen de la cámara (Figura 4.34). Por defecto el *frame* contiene la

frase en inglés “*It’s a webcam!*” (¡Es una cámara web!) y el enlace a Yawcam en el pie del *frame* “*Powered by www.yawcam.com*”.

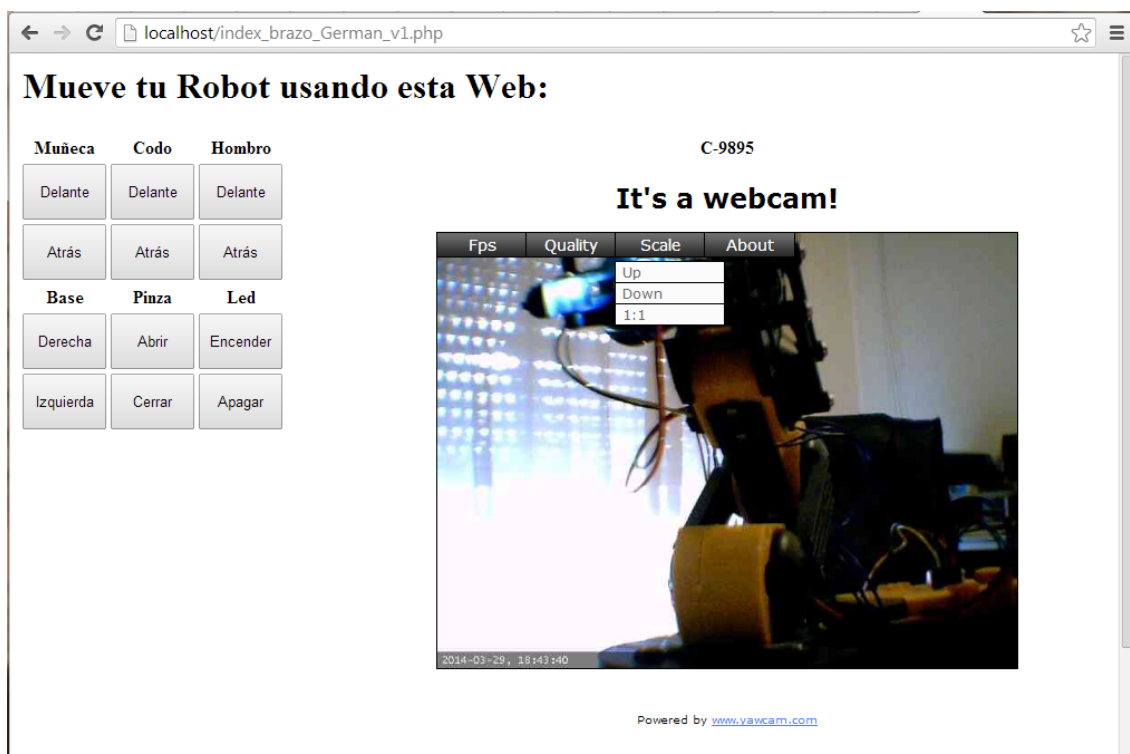


Figura 4.34. Gestión de la imagen emitida de manera directa desde el *frame* que aloja a la cámara.

Con todo ello el laboratorio ya estaría listo para emitir en *streaming*. Como en el caso anterior solo faltaría realizar las pertinentes configuraciones del router para la salida a Internet. A diferencia de VLC, Yawcam, no requiere configuraciones concretas en el cortafuegos de Windows, al menos en su configuración básica que es la mostrada a lo largo de este punto, pero sí se requiere la apertura de puertos en el router de la red local para permitir que el *streaming* se vuelque en Internet.

Como con VLC las configuraciones variarán en función del hardware que gestione la propia red, pero en condiciones normales se tendrá que abrir el puerto 8081 para la dirección IP local indicada previamente. La utilidad de verificación de IP externa de Yawcam, vista anteriormente, será muy práctica para hacer las primeras pruebas desde el exterior de la red y ver que todo funciona correctamente.

Comparado con el proceso previo de conexión utilizando VLC se aprecia que este sistema es mucho más intuitivo y directo. No obstante VLC permite una mayor cantidad de ajustes y muchos profesionales lo preferirán frente al carácter intuitivo y amigable de Yawcam.

El objetivo de esta sección era conseguir utilizar cualquier cámara web, incluidas las de conexión USB, para integrarla en un laboratorio de manera sencilla.

Dado que lo principal es el laboratorio y su difusión, lo más recomendable sería perder el menor tiempo posible en el *streaming* y centrarse en factores mucho más importantes que garanticen el correcto funcionamiento del laboratorio y el acceso a éste, por eso en esta tesis doctoral se ha utilizado habitualmente Yawcam para las pruebas reales en proyectos en los que se ha utilizado SiLaRR; cuando éstas se han realizado con cámaras web con conexión USB; o bien se han embebido directamente las direcciones IP de las cámaras web externas independientes de manera limpia en el código, dejando VLC para pruebas de concepto o para aquellas pruebas relacionadas con la propia tesis doctoral.

4.5. Comunicaciones

Otro de los aspectos fundamentales para el acceso a un laboratorio remoto es precisamente el sistema de comunicaciones elegido para interactuar con el equipo robotizado.

En este caso y dado que la herramienta hardware principal es Arduino UNO R3, se estudiaron diferentes propuestas existentes y se comprobó el funcionamiento de las mismas analizando sus posibles ventajas e inconvenientes. De todos los sistemas de comunicaciones existentes se probaron, con éxito, las opciones: serie, Wi-Fi, Ethernet y Bluetooth, que se desarrollan a continuación.

4.5.1. Serie

Un puerto serie es una interfaz de comunicaciones de datos digitales, donde la información es transmitida bit a bit enviando un solo bit a la vez, en contraste con el puerto paralelo que envía varios bits simultáneamente, [179].

En el caso de Arduino la referencia serie no es totalmente así. En los primeros modelos de Arduino existía un puerto serie (Figura 4.35) para conectar la placa Arduino al PC, [180], funcionando con el estándar de comunicaciones RS-232, [181].

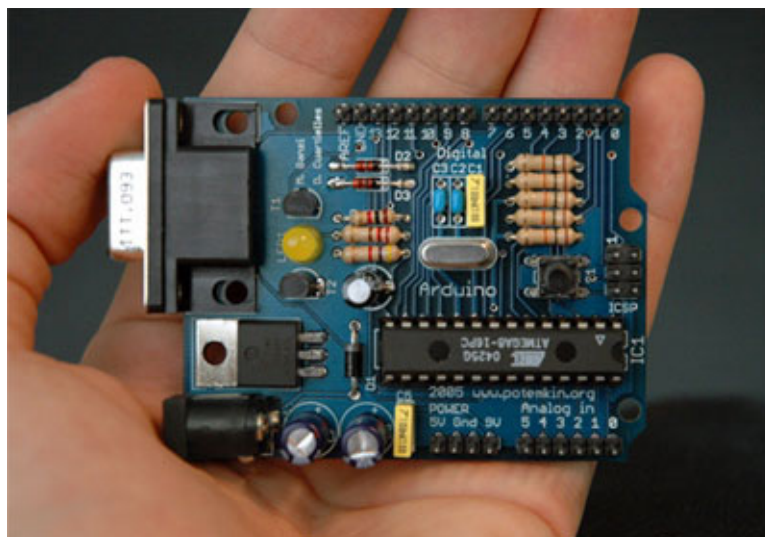


Figura 4.35. Modelo de Arduino con puerto serie.

Actualmente las placas Arduino UNO R3 constan de un puerto USB, [182], si bien, debido a la configuración inicial en serie, es necesario instalar un *driver* en el sistema operativo que emule el funcionamiento del puerto serie en el USB. Dicho *driver* viene incluido en el software de Arduino y el efecto visual es que en el administrador de dispositivos de Windows lo que se asigna a Arduino como puerto de comunicaciones es un puerto COM, [183], o puerto serie tradicional (Figura 4.36). Este mecanismo de emulación hace que; como se verá; muchos de los problemas más habituales relacionados con el uso de Arduino sean por el funcionamiento incorrecto en las comunicaciones con este puerto.

El propio IDE de Arduino utiliza en exclusiva ese sistema para cargar el código fuente necesario para programarlo. Aun así, no es extraño encontrarse; en sistemas operativos Windows; problemas a la hora de que el propio IDE localice el puerto COM correcto para realizar la carga de dicho software, o simplemente muestre a este puerto siempre ocupado cuando no debería estarlo. Los foros oficiales de Arduino, [184], contienen gran número de consultas sobre ese tema que, sobre todo en versiones antiguas de la placa, requerían del uso de configuraciones de hardware que en algunos casos pasaban por tener que manipular físicamente el propio Arduino.

Actualmente y con las mejoras de las últimas versiones de hardware y firmware de Arduino esos problemas están desapareciendo, si bien más adelante se describen algunos de los consejos y experiencias vividas durante el proceso de investigación de esta tesis doctoral en referencia precisamente al uso del puerto serie como sistema de comunicación con Arduino.

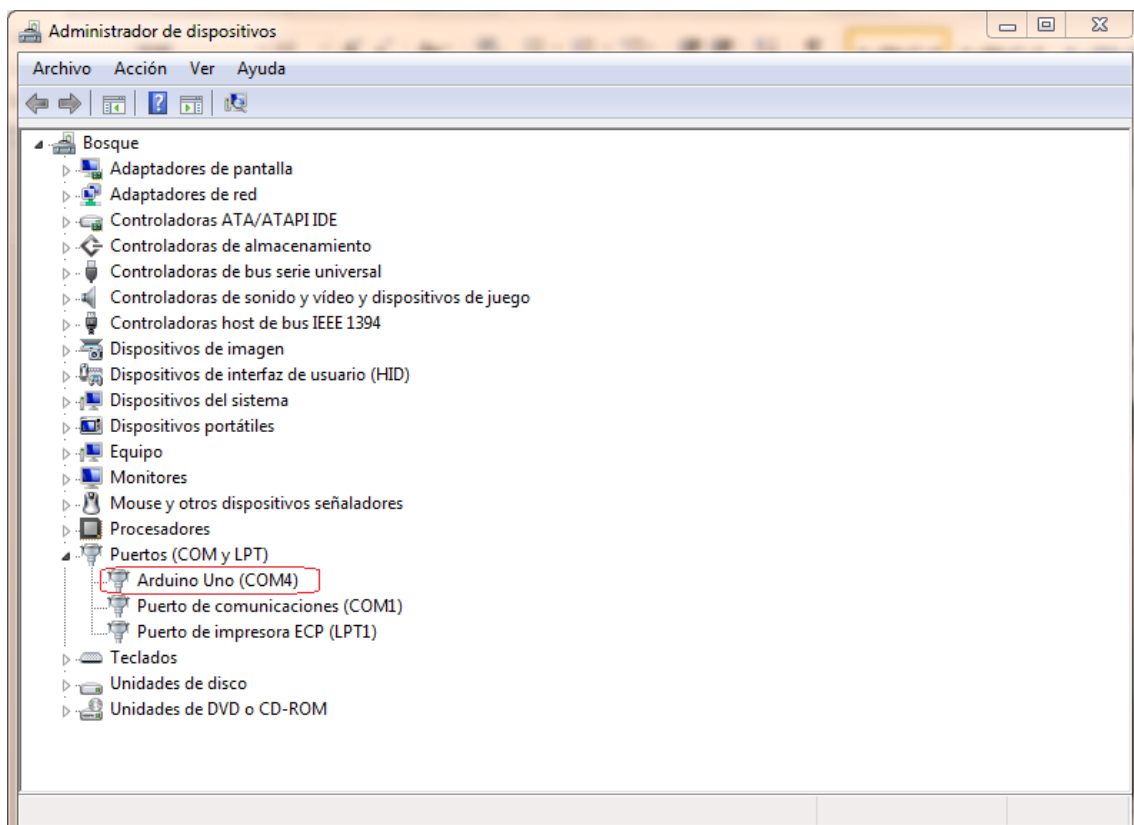


Figura 4.36. Asignación de puerto COM serie emulado vía USB mediante *drivers* de Arduino.

El código implementado para integrar este protocolo de comunicaciones desde el lado del servidor (Figura 4.37) ha buscado la sencillez y la posterior portabilidad para garantizar la flexibilidad del sistema si es necesario.

```
$color = $_POST['color'];
$color = hexdec($color);
$pwmValue='^'.$color.'$';
echo $pwmValue;
exec("mode ".$portcom." BAUD=".$bps." PARITY=N data=8 stop=1 xon=off");
$fp = fopen($portcom, "w");
if (!$fp)
    echo "Cerrado o no abierto";
else {
    echo "Abierto: ";
    fwrite($fp, $pwmValue);
}
fclose($fp);
die();
```

Figura 4.37. Extracto de código para comunicación con Arduino usando puerto serie en SiLaRR.

Por otro lado también ha sido necesario desarrollar el código respectivo para el hardware Arduino utilizado, permitiendo así la recepción de los datos pertinentes desde el servidor, para interactuar con el equipo robotizado (Figura 4.38).

```
#define bps 9600
/...
.../
boolean readingSerial;
void setup() {
    Serial.begin(bps);
    readingSerial = false;
}
void loop() {
    if (Serial.available() > 0 && !readingSerial) {
        if (Serial.read() == START_COLOR_CHAR) {
            serialReadColor();
        }
    }
}
```

Figura 4.38. Extracto de código para comunicación en el Arduino usando puerto serie en SiLaRR.

SiLaRR ha sido probado con éxito utilizando Arduino UNO R3 bajo Sistema Operativos Windows 7, 8 Pro y 8.1 Pro, con 64 bits, con puerto serie, con lo que las pruebas llevadas a cabo confirman que el funcionamiento es viable y perfectamente estable.

No obstante la mayor parte de los errores que pueden producirse en estos o en otros sistemas operativos Windows pueden venir dados por alguna de las siguientes causas que han sido documentadas expresamente a lo largo de este trabajo:

➤ Uso de versiones anteriores de Arduino UNO R1 o R2:

El sistema de *reset* en estas versiones era diferente al actual y podía provocar el bloqueo del reseteo de la placa de manera espontánea. En la versión R3 el reseteo se produce vía software cuando es necesario para dar paso a la carga del programa desde el IDE oficial.

En la propia página web oficial de Arduino se indica claramente, [185], que se puede producir un reseteo automático al conectar el Arduino al puerto USB en Sistemas Operativos Linux y Mac, no en Windows. En cualquier caso la solución recomendada en los casos en que se produzca, sobre todo si se utilizan placas diferentes a la R3, es sencilla, configurar un *delay* de un segundo garantiza que no haya problemas de recepción de datos.

Como se ha indicado en los Sistemas Operativos utilizados no se ha dado esta situación, pero además la codificación de órdenes vía USB; en SiLaRR y sus laboratorios; viene marcada por un carácter de inicio y otro de fin que evitaría que el Arduino aceptara los datos si estos caracteres no están visibles en la recepción.

En el propio foro de Arduino se trata esta cuestión con diferentes soluciones propuestas, algunas de ellas de hardware (como utilizar un condensador entre el pin de *reset* y tierra de diez picofaradios (10 uF) para anular el *reset*), [186], o bien vía software atendiendo a la solución ya citada de establecer un segundo de espera antes de enviar código a la placa. Si bien ya desde noviembre de 2010 no hay entradas en el hilo oficial referentes a este tema, [187], dado que en diciembre de 2011 salió al mercado la actual placa Arduino UNO R3.

➤ *Problemas con la fuente de alimentación o variaciones de tensión:*

Otro de los problemas que se pueden producir es que exista un incorrecto funcionamiento de la fuente de alimentación del PC o bien que se produzcan variaciones de tensión importantes.

Arduino UNO R3 tiene un sistema de seguridad que busca evitar sobrecargas en el puerto USB, ya vengan desde la propia placa de Arduino o desde el exterior. Para ello posee un sistema de protección que hace que se interrumpa automáticamente la conexión por el puerto USB si detecta una intensidad de corriente eléctrica superior a 500 mA, [185].

La solución en estos casos pasa por utilizar una fuente de alimentación adecuada, una placa base del PC que distribuya correctamente la electricidad y voltajes necesarios hacia los puertos USB, o un SAI, [188], con un sistema de regulación de tensión que garantice que el voltaje recibido por el PC es el adecuado.

También es recomendable establecer siempre una toma de tierra o *ground* (GND) común para el esquema eléctrico de conexiones entre el Arduino y el resto de hardware del equipo robotizado, de esa manera se consigue una mayor estabilidad para el circuito.

➤ *Puertos fantasma:*

Otro problema puede venir por la aparición de los denominados “puertos fantasma”. Este es un efecto que se ha detectado en Sistemas Operativos Windows.

Desde Windows XP es posible que en determinadas circunstancias se mantengan o se creen puertos COM que realmente ya no existen o que nunca han existido en el PC. Esos puertos fantasma poseen la característica de permanecer abiertos indefinidamente, con lo que el intento de acceso a través de ellos va a suponer un aviso de puerto ocupado y con ello la imposibilidad de enviar datos a la placa de Arduino.

Este tema ha sido estudiado extensamente y advertido por la propia compañía Microsoft. Actualmente hay muchas páginas en Internet y foros que describen como eliminar estos puertos fantasma directamente desde el registro de sistema de Windows, [189], o desde el propio administrador de dispositivos del Sistema Operativo, [190], [191].

En el propio Windows 7 el problema llegó a ser de tal calibre que Microsoft lanzó un parche para instalar en el Sistema Operativo e intentar minimizar los efectos del mismo, [192].

En Windows 8 Pro, o en 8.1 Pro, apenas se han encontrado incidencias con este problema. El problema en sí está generado por la interacción entre el software que utiliza los puertos USB (por ejemplo el propio IDE de Arduino) y la capacidad del mismo para cerrar estos puertos una vez no están siendo utilizados, así como la capacidad del Sistema Operativo Windows para revisar la conexión, o no, de hardware a los mismo.

Por estas razones y como prevención, para SiLaRR, se recomienda utilizar un PC como servidor conectado al Arduino vía USB y otro PC para realizar las pruebas y la carga del software final en el Arduino, evitando así la aparición de este efecto.

➤ Uso de tarjetas criptográficas:

Otro de los problemas que se ha detectado se produce por el uso de software o hardware de verificación y lectura de tarjetas criptográficas. Dado que dicho software/hardware está revisando los puertos USB en todo momento en que detecta una conexión a los mismos, para comprobar si lo que se ha conectado es una tarjeta criptográfica o un DNI electrónico.

Como en el caso anterior se recomienda no utilizar este software o hardware en el PC que se va a utilizar como servidor dedicado para el laboratorio. Si bien no siempre ocurre, en algunas ocasiones este software interacciona con el Arduino haciendo que esté pierda temporalmente la conexión con el puerto USB y dejando bloqueado dicho puerto durante un tiempo, lo que evita que se reciban los datos desde el servidor, bloqueando temporalmente su funcionamiento.

➤ Ahorro de energía:

Otro de los problemas detectados también con los puertos USB viene dado por la activación automática en el PC del sistema de ahorro de energía.

En la mayor parte de los casos dicho Sistema Operativo Windows desconecta el puerto USB si detecta que está en reposo durante un tiempo determinado, eso puede provocar la desconexión de la comunicación con el Arduino.

La solución es sencilla, simplemente se debe seleccionar en el Administrador de dispositivos cada uno de los puertos USB de la sección “Controladoras de bus serie universal” descritos como “Concentrador raíz USB” y en sus propiedades, en la sección “Administración de energía”, desmarcar la opción “Permitir que el equipo apague este dispositivo para ahorrar energía”. En varios foros de Internet se comentan estos y otros problemas derivados del funcionamiento errático de los puertos USB en Windows 7, [193].

Los test y pruebas realizados utilizando el laboratorio “El color de la luz” con un LED RGB y las posteriores pruebas ya en producción con el laboratorio “Brazo robotizado” para los proyectos TechnoMuseum y Go-Lab, se realizaron utilizando una conexión de la placa Arduino UNO R3 al PC a través del puerto USB del mismo y su funcionamiento fue siempre óptimo permitiendo replicar el proceso en diferentes laboratorios con LED RGB y brazos robotizados en Coruña y Madrid sin problema alguno siguiendo las especificaciones indicadas y comprobando los posibles problemas relacionados anteriormente.

4.5.2. Wi-Fi

La comunicación se llevó a cabo mediante el shield Wi-Fi específico para Arduino ya mostrado anteriormente en el apartado 4.2.1. Al igual que en el caso anterior las pruebas han resultado positivas. En este caso el objetivo era probar el funcionamiento del sistema utilizando el protocolo de comunicaciones Wi-Fi, [194].

Las especificaciones del shield Wi-Fi de Arduino, [195], permiten que la comunicación se realice mediante conexión *wireless* directamente desde la página web vía router hasta la dirección IP del shield Wi-Fi, cargando en ella en tiempo real los datos necesarios desde la página web y que a su vez actúa como puerto hacia el Arduino UNO R3 trasladando dicha información a la placa y de esta al hardware del laboratorio.

Como en la opción anterior también se ha implementado un código específico para realizar la comunicación utilizando el shield Wi-Fi como herramienta para el envío de datos al Arduino (Figura 4.39).

```

$ip = $ipWi-Fi;
$port = $ptoWi-Fi;
$fp = fsockopen($ip, $port, $errno, $errstr);
$color = $_POST['color'];
$color = hexdec($color);
    $pwmValue='^'.$color.'$';
    if (!$fp)
        echo "Cerrado o no abierto";
    else
        {
            echo "Abierto";
            fwrite($fp, $pwmValue);
        }
    fclose($fp);
die();

```

Figura 4.39. Extracto de código para comunicación con Arduino usando shield Wi-Fi en SiLaRR.

Por otro lado también ha sido necesario desarrollar el código respectivo para el hardware Arduino utilizado, permitiendo así la recepción de los datos pertinentes desde el servidor, para interactuar con el equipo robotizado (Figura 4.40).

```

char nomWi-Fi[] = "Wi-Fi_Local";
char passWi-Fi[] = "01frt25d1r4e1r4e1";#include <Wi-Fi.h>
Wi-FiServer server(80);
// estamos escuchando en el puerto
Wi-FiClient client;
unsigned int status;
boolean reading;
void setup() {
    Serial.begin(bps);
    reading = false; status = Wi-Fi.begin(nomWi-Fi, passWi-Fi);
    if ( status != WL_CONNECTED) { // error de conexion
        Serial.print("Error conectando a la Wi-Fi con direccion: ");
        Serial.println(Wi-Fi.localIP());
    }
}

```

Figura 4.40. Extracto de código para comunicación en el Arduino usando shield Wi-Fi en SiLaRR.

También en este caso y por las propias características libres del hardware ha sido necesario tener en cuenta ciertos factores que pueden dar lugar a un incorrecto funcionamiento del sistema si no se atienden correctamente:

➤ *Firmware del shield Wi-Fi:*

Previamente a la utilización del hardware, se recomienda actualizar el firmware del shield Wi-Fi tal y como se indica en la página oficial de Arduino, [196], o bien en otras de las páginas que a tal efecto existen en Internet y que profundizan mucho más en el proceso de actualización, incluso con guías paso a paso, [197].

➤ *Ajustes en el hardware:*

En el caso del shield Wi-Fi de Arduino se requiere un pequeño ajuste en el hardware del propio shield. Para ello el usuario debe tener presente que es recomendable puentear los pines 3 y 7 del shield Wi-Fi para evitar tener que pulsar el *reset* cada vez que se quiera poner en marcha el shield Wi-Fi. De esa manera el shield Wi-Fi se mantendrá funcionando constantemente sin requerir la

presencia del usuario para reiniciarla si se produce algún problema en el laboratorio o si se carga un nuevo software en el Arduino, [196].

➤ Configuraciones predefinidas:

Habitualmente todos los pines del shield Wi-Fi, excepto el 2, el 8 y el 9 tienen su carga en HIGH, con lo que es recomendable reiniciar los pines que vayan a ser utilizados en LOW para asegurar el correcto funcionamiento del sistema. Para ello solo es necesario indicar en el código fuente a cargar en el Arduino que el valor inicial de los mismos esté en LOW.

4.5.3. Ethernet

La comunicación se llevó a cabo mediante el shield Ethernet específico para Arduino ya mostrado anteriormente en el apartado 4.2.1. En este caso el objetivo era probar el funcionamiento del sistema utilizando el protocolo de comunicaciones Ethernet, [198]. También en este caso el sistema ha funcionado correctamente.

Las especificaciones del shield Ethernet de Arduino, [198], permiten que la comunicación se realice directamente a través de la página web vía router al que se encuentra conectado el citado shield Ethernet. Actuando dicho shield como receptor de los datos enviados y proporcionando el puerto para la carga de los datos pertinentes en la placa Arduino, modificando así el comportamiento del hardware del laboratorio en tiempo real. Para ello también se ha implementado el código de comunicaciones adecuado (Figura 4.41).

```
$ip = $ipethernet;
$port = $ptoethernet;
$fp = fsockopen($ip, $port, $errno, $errstr);
$color = $_POST['color'];
$color = hexdec($color);
    $pwmValue='^'.$color.'$';
    if (!$fp)
        echo "Cerrado o no abierto";
    else {
        echo "Abierto";
        fwrite($fp, $pwmValue);
    }
fclose($fp);
die();
```

Figura 4.41. Extracto de código para comunicación con Arduino usando shield Ethernet en SiLaRR.

Por otro lado también ha sido necesario desarrollar el código respectivo para el hardware Arduino utilizado, permitiendo así la recepción de los datos pertinentes desde el servidor, para interactuar con el equipo robotizado (Figura 4.42).

```

#include <Ethernet.h>
byte mac[] = { 0xC0, 0xA0, 0x20, 0xA0, 0x10, 0x10 };
IPAddress ip(192,168,1,33);
// Initialize the Ethernet server library
// with the IP address and port you want to use:
EthernetServer server(80);
unsigned int status;
boolean reading;
void setup() {
    Serial.begin(bps);
    reading = false;
    Ethernet.begin(mac, ip);
    server.begin();
    Serial.print("Conectado a la ethernet con direccion: ");
    Serial.println(Ethernet.localIP());
}

```

Figura 4.42. Extracto de código para comunicación en el Arduino usando shield Ethernet en SiLaRR.

El shield Ethernet se ha mostrado como el sistema más estable de todos los utilizados, sin necesidad de verificar configuraciones previas; hardware o software; y con una respuesta idéntica a los casos anteriores. Se podría decir que para laboratorios con las características desarrolladas para SiLaRR, y siempre que el hardware lo soporte, este sería el sistema recomendado.

4.5.4. Bluetooth

De manera complementaria a estos sistemas básicos, se ha experimentado con la posibilidad de establecer comunicación vía Bluetooth, [199].

Dado que un dispositivo Bluetooth acepta la configuración vía serie en emulación COM, estableciendo por defecto dicha configuración, el dispositivo se comportaría como un puerto serie. Si se utiliza un dispositivo Bluetooth configurado como maestro en el PC y otro configurado como esclavo en la placa Arduino, el funcionamiento esperado se ha comprobado idéntico al del puerto serie ya visto en el apartado 4.5.1 de esta sección.

4.6. La robótica es solo el principio: generalización del sistema

El hardware y software presentado anteriormente ha sido la base de SiLaRR y su orientación principal se ha dirigido a su uso con equipos robotizados, pero a lo largo del proceso de investigación y desarrollo del sistema se ha demostrado que también se puede utilizar para laboratorios que no sean de robótica. La razón de ello es la versatilidad con la que desde el diseño inicial se ha querido dotar a SiLaRR.

El diseño básico de la estructura del sistema se refleja en la Figura 4.43 que aglutina los siguientes conceptos y sus relaciones:

- ✓ **Laboratorios remotos:** Ya en el Capítulo 2 se avanzaba la gran variedad de laboratorios con enfoque educativo que pueden existir. A la hora de plantearse

desplegar uno, es recomendable analizar publicaciones específicas que aglutinan un gran número de ejemplos debidamente contrastados y probados, [200], y con ellas valorar las diferentes opciones disponibles. Los diferentes aspectos a evaluar y a tener en cuenta hacen de la posibilidad de desplegar un laboratorio remoto, algo que debe ser analizado a fondo intentando aprender de la experiencia de otros, procurando no repetir los mismos errores y entendiendo que las necesidades no tienen por qué coincidir, incluso para un mismo laboratorio, [201]. Aunque la idea de partida es siempre la misma, permitir al alumno probar en la práctica los conocimientos adquiridos en la teoría, [202].

Asimismo existen estudios dirigidos únicamente a establecer las pautas que debería poseer un laboratorio remoto para aumentar su eficiencia en entornos educativos, [203]. En este aspecto es de destacar el enfoque del laboratorio como servicio, [204], y la búsqueda o desarrollo de interfaces que faciliten el proceso de integración, [205]. Esta visión busca homogeneizar las necesidades básicas de cualquier laboratorio remoto para intentar estandarizarlas y desarrollar un esquema común que permita facilitar la instalación y puesta en marcha del mismo. Esta filosofía forma también parte de SiLaRR y responde a la necesidad de simplificar el proceso de instalación y despliegue de un laboratorio remoto.

La formación, y en general el proceso de aprendizaje requiere de la práctica en la mayor parte de los campos científicos, pero muy en especial en aquellos relacionados con la ingeniería. Las propias políticas educativas existentes en el Espacio Europeo de Educación Superior, reconocen la necesidad de establecer una adecuada formación práctica en determinadas materias, y la robótica es una de esas disciplinas en las que la práctica facilita el proceso de aprendizaje, ya no solo de cara a los alumnos, sino también como herramienta básica de apoyo para los profesores, [206]. Si el objetivo final es incrementar la formación y cualificación de los estudiantes para enfrentarse con mayores garantías de éxito al mercado laboral, teniendo en cuenta; como se ha visto en el Capítulo 3; la importancia de la robótica en los sistemas de producción actuales, cualquier esfuerzo en esa línea constituye un punto más, a favor, para formar a los futuros profesionales, [207].

Desde un punto de vista general los estudios muestran una tendencia hacia el uso de los laboratorios remotos como alternativa o complemento a los laboratorios tradicionales, [208], y como un modelo más adecuado que el de la mera simulación, [209], no obstante el enfoque inicial de esta tesis doctoral se ha centrado en el uso de equipos robotizados en laboratorios remotos. Cuando SiLaRR estaba ya casi completamente configurado se procedió a probar la integración de equipamiento hardware distinto del de los equipos robotizados y se descubrió que seguían unas características de integración similares que han permitido generalizar el sistema. Esta generalización permitiría utilizar SiLaRR, con los módulos pertinentes, para utilizar laboratorios remotos con otras características (FPGAs, microcontroladores, etcétera).

- ✓ **Lado del servidor:** El laboratorio remoto debe estar conectado de alguna manera a un servidor en el que se gestiona su instalación y su funcionamiento *in situ*. El servidor aloja la estructura que permitirá desplegar al laboratorio y

facilitará que los usuarios interaccionen con él, ya sea mediante su configuración o actualización, la gestión de accesos o el simple uso del mismo.

El servidor debe conformar un entorno estable pero al mismo tiempo debe estar dotado de la flexibilidad suficiente que permita realizar los cambios y ajustes necesarios para que el acceso a los laboratorios pueda ir evolucionando en el tiempo conforme se mejora o sustituye la tecnología que lo sustenta.

- ✓ **API de gestión inteligente (AGI):** Esta herramienta es el núcleo del sistema. La citada API permitirá distinguir de manera independiente el tipo de conexión que se realiza con el laboratorio en cuestión. Su principal característica será la sencillez para el usuario administrador ya que éste simplemente deberá instalar el software desarrollado a tal efecto como si de cualquier otra aplicación se tratara, e ir aceptando o rechazando las sugerencias mostradas para ir ajustando las características de su laboratorio a las capacidades del sistema.

Esta herramienta constituye una parte fundamental de SiLaRR ya que permitirá extender las posibilidades de integración de laboratorios en este sistema utilizando un hardware y una librería de software conservando dicho proceso transparente para el usuario. Dicha característica facilitará la inclusión de nuevos módulos y hardware en SiLaRR sin afectar a los módulos ya existentes, promoviendo así la flexibilidad, escalabilidad y versatilidad del sistema.

- ✓ **Webservice:** Actualmente existen varias posibilidades respecto a la integración en web de laboratorios remotos. En este contexto no solo existen desarrollos conducentes a facilitar el uso de interfaces capaces de conectar laboratorios remotos a plataformas educativas, [210], aprovechando así las opciones del software libre, sino propuestas de carácter económico, orientadas a la comercialización de *marketplaces* de laboratorios, [211]. Otras plataformas permiten el uso de laboratorios idénticos, o muy similares, de manera coordinada, facilitando así una mayor disponibilidad de los mismos de cara al usuario final, [212], o bien ofreciendo laboratorios diferentes dentro de un mismo entorno, [74]. Una herramienta de este tipo puede llegar a distribuir u ofrecer laboratorios remotos a nivel local, nacional o internacional, [213], en función de la necesidad de cobertura del proyecto y de las instituciones, empresas, u organismos, implicados en el mismo.

De la misma forma esta estructura puede proporcionar otro tipo de herramientas que pueden resultar útiles para los docentes y para los alumnos, no solo en lo referente a la recopilación de datos de uso para tareas de *learning analytics*, [214], como herramienta de análisis integrada en los propios laboratorios, [215], sino directamente vinculada al propio hardware, [216], o como herramienta centrada en los propios alumnos, [217].

SiLaRR implementa esta herramienta de una manera práctica y permite, en caso necesario, personalizar o diseñar un *webservice* adecuado en base a la institución, centro educativo, empresa u organismo que lo quiera integrar. Su función es poner en contacto a través de Internet el lado del servidor con el lado del cliente. A través de él se gestionan las colas de acceso, los accesos a

laboratorios compartidos o múltiples, lo que en SiLaRR se ha denominado laboratorios en anillo, o la gestión de recogida de datos de usuarios para tareas de informes o alertas. La flexibilidad de SiLaRR permitiría personalizar estas herramientas de información y convertirlas en herramientas de análisis, o incluso integrar módulos dedicados a esta tarea en exclusiva, ofreciendo así también opciones extendidas de *learning analytics*.

- ✓ **Lado del cliente:** Al igual que en este caso el usuario final solo necesitará instalar un software estándar, como es el que conforma los navegadores convencionales, para acceder a la interfaz que le dará paso a los laboratorios remotos. Si por motivos de personalización del sistema el *webservice* es propio, o tiene unas características muy concretas o específicas, se podría desarrollar un módulo específico en SiLaRR para utilizar un acceso a Internet directamente a dicho *webservice* y allí desplegar la interfaz de uso para el cliente sin que este tenga que instalar ningún software complementario en su equipo.

En condiciones normales y funcionando de manera genérica el usuario cliente final; que en SiLaRR estaría formado por los alumnos y sus tutores, y en caso puntuales por los administradores del sistema; puede acceder al sistema con un navegador convencional que soporte HTML5. Se recomienda utilizar Chrome por los buenos resultados que ha proporcionado a lo largo de las pruebas realizadas, pero Mozilla Firefox o Internet Explorer pueden ser también utilizados para acceder; en función del tipo de configuración del laboratorio; a la mayor parte de las opciones disponibles en el sistema.

- ✓ **Terminales de acceso:** En combinación con el apartado anterior y como conclusión motivada por la capacidad de acceso generalizada al sistema que proporciona SiLaRR, el usuario final podrá acceder al sistema utilizando los medios tecnológicos actualmente disponibles para ello: ordenadores de sobremesa, ordenadores portátiles, tabletas, *smartphones*, etc., que funcionen tanto bajo sistemas operativos Windows, Linux, Android, iOS o Mac OS X. Permitiendo así que SiLaRR forme parte de, o sea aprovechado como herramienta educativa por, las nuevas tecnologías móviles que han surgido al amparo de los nuevos dispositivos, [218], [23].

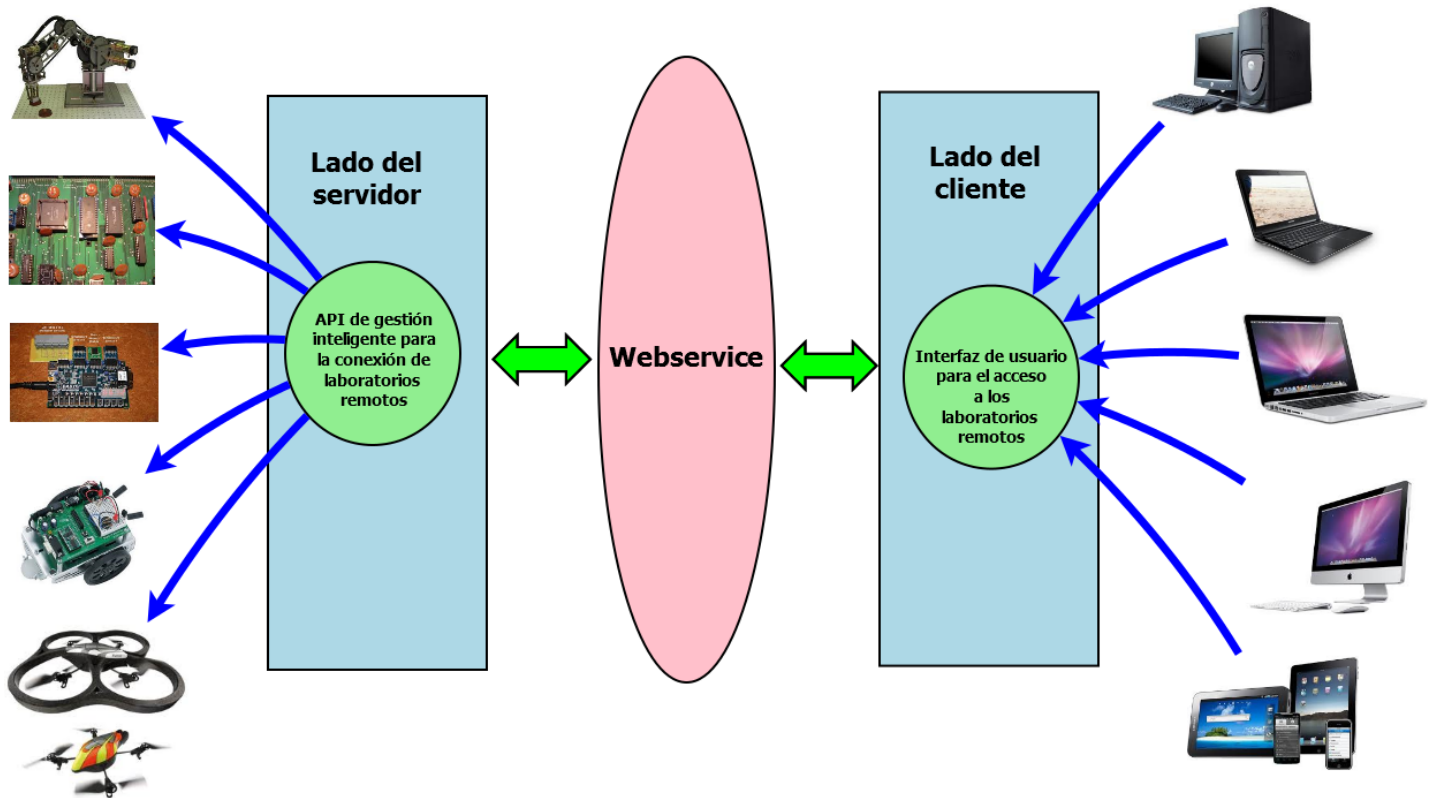


Figura 4.43. Estructura del sistema SiLaRR.

El núcleo del sistema, y la dificultad del mismo, radica en simplificar la conexión de los diferentes tipos de laboratorios que pueden ser utilizados. Para ello la idea ha sido diseñar e implementar unos *drivers* genéricos que sean capaces de reconocer, e instalar o habilitar mediante un sistema similar al “Plug and Play” los diferentes protocolos y puertos de comunicación conocidos más comunes (Figura 4.44), para permitir el acceso al hardware del laboratorio desde Internet.

Dada la disparidad de hardware de los diferentes equipos robotizados existentes no en todos los casos será posible implementar un sistema de conexión adecuado, pero al menos se han cubierto los protocolos y puertos de comunicación más habituales. Una vez conseguido esto, el siguiente paso fue implementar un software fácil de usar por personas sin experiencia avanzada en informática. Ahí es dónde radica la importancia y la utilidad del desarrollo de un software fácil de instalar.

Desde este planteamiento el usuario solo tendría que centrarse en desarrollar su laboratorio con la confianza de que, utilizando el hardware propuesto por el sistema SiLaRR, y su software de instalación y configuración, será capaz de desplegarlo en Internet de una manera más sencilla y rápida que con otros sistemas existentes en el mercado como LabVIEW, [219], [220], o MatLab, [221], [222].

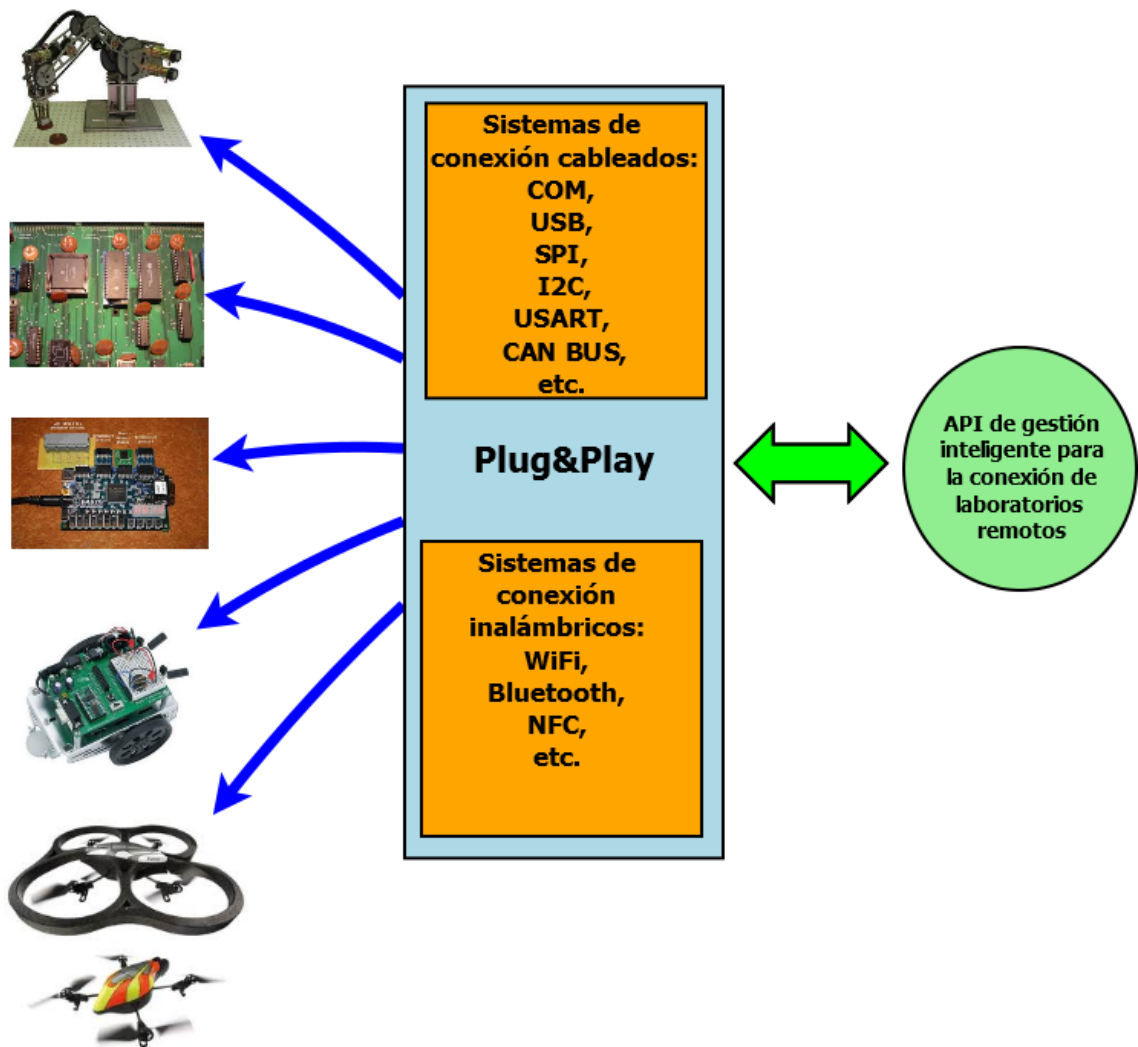


Figura 4.44. Relaciones de la API de gestión inteligente (AGI) con el exterior.

Alcanzado ese punto, la implementación del resto del sistema se centraría en la configuración, selección e implementación básica del *webservice* más adecuado, y en caso necesario del software de interface para el usuario cliente. Ya que este último se integra en el *webservice* el usuario solo tendrá que conectarse a Internet y acceder al sistema mediante un *login* y una contraseña de acceso que lo identifique.

Dado que una vez superada la dificultad de conexión, el laboratorio puede contener cualquier dispositivo electrónico; y no únicamente un robot; en teoría y como se ha anticipado; se deduce que su uso puede generalizarse para otros laboratorios que no sean de robótica. El laboratorio denominado “El color de la luz”; como se verá más adelante; desarrollado para el proyecto Go-Lab, ha confirmado esa posibilidad a lo largo de la investigación.

4.7. API de gestión inteligente (AGI)

De los componentes citados anteriormente, el más importante es precisamente la API de conexión. Desde un punto de vista teórico en ella reside el nexo para comunicar el

laboratorio robotizado con el mundo exterior a través de la conexión de la misma con el servidor.

La idea de la AGI nació de los antiguos sistemas de seguridad para software basados en lo que popularmente se denominaban “mochilas” en castellano, o *dongles* en inglés, [223]. Las mochilas permitían verificar vía hardware si el usuario de determinado software tenía licencia o no para utilizarlo. Sin la “mochila” instalada en el puerto del ordenador (normalmente el puerto paralelo o el USB) el software no podía utilizarse.

Durante el proceso de investigación se evaluaron diferentes equipos robotizados para la posible integración de los mismos en SiLaRR y las conclusiones obtenidas mostraron que el único punto en común que tenían entre ellos era precisamente que no tenían nada en común. Aparecían diferentes sistemas de comunicaciones, por puerto serie o USB (Home BoeBot, [224]), comunicación inalámbrica Bluetooth o Wi-Fi (Nao robot, [69]), utilizaban diferentes lenguajes de programación algunos propietarios como PBasic de Parallax, [225], y otros más generalistas como C++, Java, o simplemente no tenían capacidad de ser reprogramados sino que se limitaban a responder al contacto de mandos a distancia; o por cable; o por impulsos de determinados actuadores, [226].

En definitiva era muy difícil encontrar dos equipos robotizados que tuvieran alguna característica común que facilitara la integración. Ante esa perspectiva se empezó a buscar un hardware que tuviera capacidad de integrarse en diferentes equipos, o al menos en los equipos que utilizaran los servicios más comunes como sensores y actuadores, permitiendo así ser utilizado como elemento común integrador.

Tras evaluar diferentes opciones ese hardware fue Arduino. Fundamente por las posibilidades ya vistas previamente en este mismo capítulo, pero también por una característica que otro tipo de hardware no tenía, el múltiple número de placas diferentes que se comercializan bajo el nombre de Arduino y que utilizan el mismo software con diferentes microprocesadores, y sus múltiples opciones de configuración y módulos de comunicaciones, [227].

Elegido el hardware, el siguiente paso fue estudiar sus posibilidades y empezar a conocer su funcionamiento. Las pruebas preliminares fueron satisfactorias y desde ese momento se convirtió en la “mochila” perfecta para la AGI.

Pero faltaba el otro lado, es decir la interacción desde el lado del servidor. Se realizaron las pruebas de uso necesarias con el puerto USB para comprobar la forma en que el servidor y la placa de Arduino se comunicaban y a partir de ahí ya con el hardware y su software, y con el servidor y su software, la AGI quedó conformada utilizando Arduino como hardware puente de integración.

Posteriormente se fueron incluyendo nuevas opciones de comunicación que confirmaron aún más las capacidades de la AGI como elemento integrador común.

Desde el punto de vista del equipo robotizado, el hecho de que Arduino cuente con pines digitales y analógicos permite que casi cualquier equipo robotizado y sus sensores asociados puedan, de una manera u otra, conectarse y recibir o enviar información desde, o hacia, la placa de Arduino. Si bien este proceso requiere en

algunos casos una mayor carga de desarrollo de software, en general, esta característica, permitió establecer el contenido que deberían incorporar los módulos básicos de integración que se desarrollaron con SiLaRR, y al mismo tiempo permitirá en un futuro enriquecer dichos módulos.

Como se ha indicado dada la modularidad del sistema y la búsqueda de generalización de su uso se decidió que dicha AGI estuviera constituida por un elemento hardware, que sería fijo y nos permitiría usarlo como pasarela de datos al laboratorio real; y un elemento software que permitiría gestionar el hardware fijo y personalizar (y aumentar mediante módulos el sistema si fuera necesario) el laboratorio remoto según las necesidades del cliente.

➤ Hardware:

Como ya se ha anticipado, preferiblemente hardware libre. Actualmente se ha optado por un Arduino UNO R3. Sus ventajas son evidentes: compatibilidad, escalabilidad, gran número de librerías e inexistencia de pagos de licencias. Su coste aproximado, en la fecha en que se escribe esta tesis doctoral, ronda los 20,00 €

➤ Software:

Es necesario el uso de diferente software en función del tipo de laboratorio, pero en esencia se utilizan las herramientas previamente mostradas:

- Para cargar en el hardware: código en lenguaje C, C++.
- Para desarrollar el servidor y la web básica y para interacción con el hardware: código en PHP, JavaScript, AJAX, MySQL y jQuery.
- Para desarrollar e instalar la suite de software y realizar su posterior configuración: código en Delphi y Java.

Es importante destacar que el uso de estos lenguajes de programación en la web nos permite garantizar la mayor compatibilidad del sistema a la hora de ser utilizado por los terminales clientes, dado que tanto Windows, como Linux, iOS, iPad, *Smartphone*, etc., soportan esos lenguajes de manera nativa, al igual que los navegadores actualmente existentes en el mercado, y en especial Chrome, Internet Explorer, y Firefox.

Por otro lado la suite de configuración está orientada a sistemas operativos Windows (Windows 7 o superior), ya que en el caso de Linux la personalización de la configuración de cada ordenador, o terminal, no permitiría desarrollar una suite con garantías suficientes de éxito en la configuración. Para estos últimos casos se entiende que el usuario administrador tiene conocimientos avanzados en el uso de sistemas Unix/Linux, con lo que el propio laboratorio remoto sería fácilmente configurable de manera individualizada y por el propio administrador (siguiendo las pautas que se han desarrollado en esta tesis doctoral). Mediante una:

- ✓ Adecuada configuración de Apache, PHP y MySQL.

- ✓ Adecuada selección del código básico existente en las librerías que utiliza la suite para interactuar con Arduino.
- ✓ Adecuado despliegue de la web que gestiona la suite, en este caso configurada manualmente.

Como se indica todo el código será igualmente configurable, pero en este caso será el propio administrador el que tenga que configurar manualmente cada herramienta utilizando, incluso, algunos de los archivos de esta suite como guía y código base. Asimismo las pautas serían similares, solo que en un caso es la suite quien facilita todo ese trabajo y en el otro es el propio administrador el que lo realiza.

En la Figura 4.45 se muestran las relaciones entre los elementos del sistema. En la imagen se aprecia la potencia real de utilizar Arduino como elemento integrador. Se reduce la necesidad de múltiples sistemas de integración personalizados a un único elemento integrador que soporta la carga del equipo robotizado en SiLaRR sin perder su flexibilidad.

Si el usuario final tuviera que realizar nuevos laboratorios o integrar equipos robotizados nuevos, conociendo el funcionamiento de SiLaRR con Arduino reduciría el tiempo de integración hacia el servidor y desde el equipo robotizado.

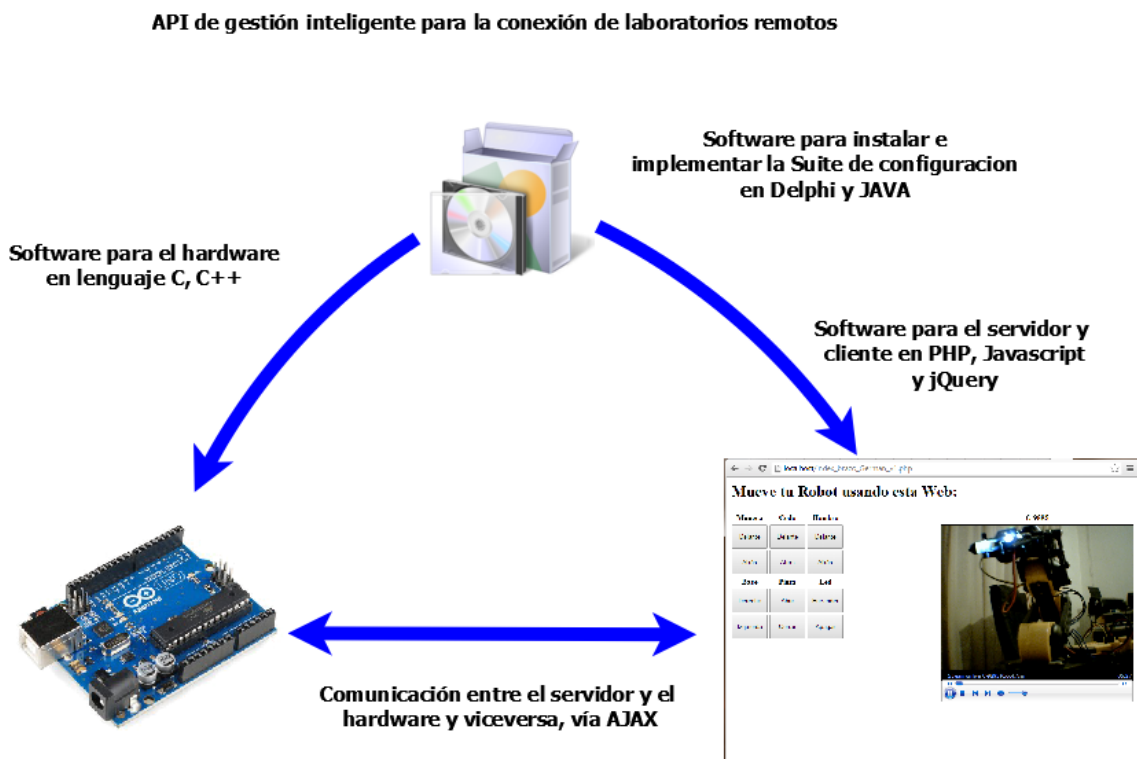


Figura 4.45. Estructura genérica de la API de gestión inteligente (AGI).

La parte más delicada es la gestión del envío de datos al hardware y la recepción de éstos desde el mismo. Para garantizar un buen funcionamiento del sistema se requiere:

- Cargar previamente en el dispositivo de hardware el software en C, C++ que registrará el funcionamiento del equipo robotizado.

- Ajustar el software del servidor en base a las necesidades impuestas por el equipo robotizado: movimiento, activación de pinza, iluminación del LED, etcétera.
- Abrir los puertos del dispositivo hardware para cargar en él las variables recogidas vía AJAX en la web (por la manipulación del usuario).
- Gestionar la frecuencia de envío de datos desde la web al hardware para evitar el colapso de los puertos y garantizar una respuesta adecuada (si es necesario establecimiento de *delays*, *sleeps*, etcétera).
- Comprobar que el equipo conectado al hardware responde correctamente a las órdenes enviadas por el sistema recogidas desde la web.

Para facilitar el trabajo al usuario administrador y evitar posibles errores de configuración, todas estas funciones son realizadas por la suite de configuración de SiLaRR. Dicha suite soporta el peso de gestionar y administrar los tres elementos básicos del sistema: la configuración del software necesario, la gestión del servidor y de la web de acceso, y la implementación del software que se deberá cargar en el Arduino, y que variará en función del equipo robotizado a instalar en el laboratorio.

En la Figura 4.46 se aprecia la diferencia entre el funcionamiento real del sistema y la visión que de este tendrá el usuario alumno (caja negra, [19]).



Figura 4.46. Visión del sistema y funcionamiento de caja negra.

Dada esta disposición de la estructura de la AGI se aprecia que permite la personalización del sistema y su modularidad (añadiendo nuevos servicios), pero conservando siempre esa estructura común que es lo que va a facilitar su instalación fácil y rápidamente en un gran número de laboratorios remotos. El proceso es automático para el usuario administrador del servidor, una vez el responsable del laboratorio indique las preferencias y características del robot, para habilitar en el

hardware del sistema la activación de las variables adecuadas que permitirán interactuar con los equipos robotizados.

Durante esta investigación se ha verificado el correcto funcionamiento del sistema con conexión serie vía puerto USB, shield Wi-Fi, shield Ethernet, y Bluetooth, instalados o conectados en el hardware de referencia.

4.8. Administración y toma de datos

La utilidad de un laboratorio remoto no solo viene dada por su acceso y uso, sino también por su capacidad de conseguir información de utilidad para el entorno formativo, ya sea este académico o empresarial.

Como se ha indicado previamente este sistema utiliza MySQL como herramienta para la correcta gestión y administración de la base de datos que requiere, pero dicha base de datos ha sido estudiada y diseñada de manera que desde ella se pueda gestionar, no solo la instalación y configuración inicial del hardware y software requerido por el equipo robotizado del laboratorio, sino que sea capaz de actualizar en el mismo los posibles cambios que puedan producirse en un laboratorio ya existente, no solo a través de la propia suite de instalación y configuración, sino también mediante el uso de los servicios disponibles vía web (*webservices*) implementados para ello.

El diseño de la base de datos se ha estructurado identificando diferentes niveles del sistema:

➤ Configuración del hardware del laboratorio:

Contiene todas las referencias y relaciones con las opciones de hardware que pueden ser utilizadas para configurar, no solo la placa principal, Arduino UNO R3, sino también los respectivos complementos de comunicaciones serie, shield Wi-Fi y shield Ethernet. Como puede apreciarse en la Figura 4.47, son muchas las combinaciones posibles, y todas ellas están disponibles para el usuario del sistema facilitándole así el proceso de seleccionarlas.

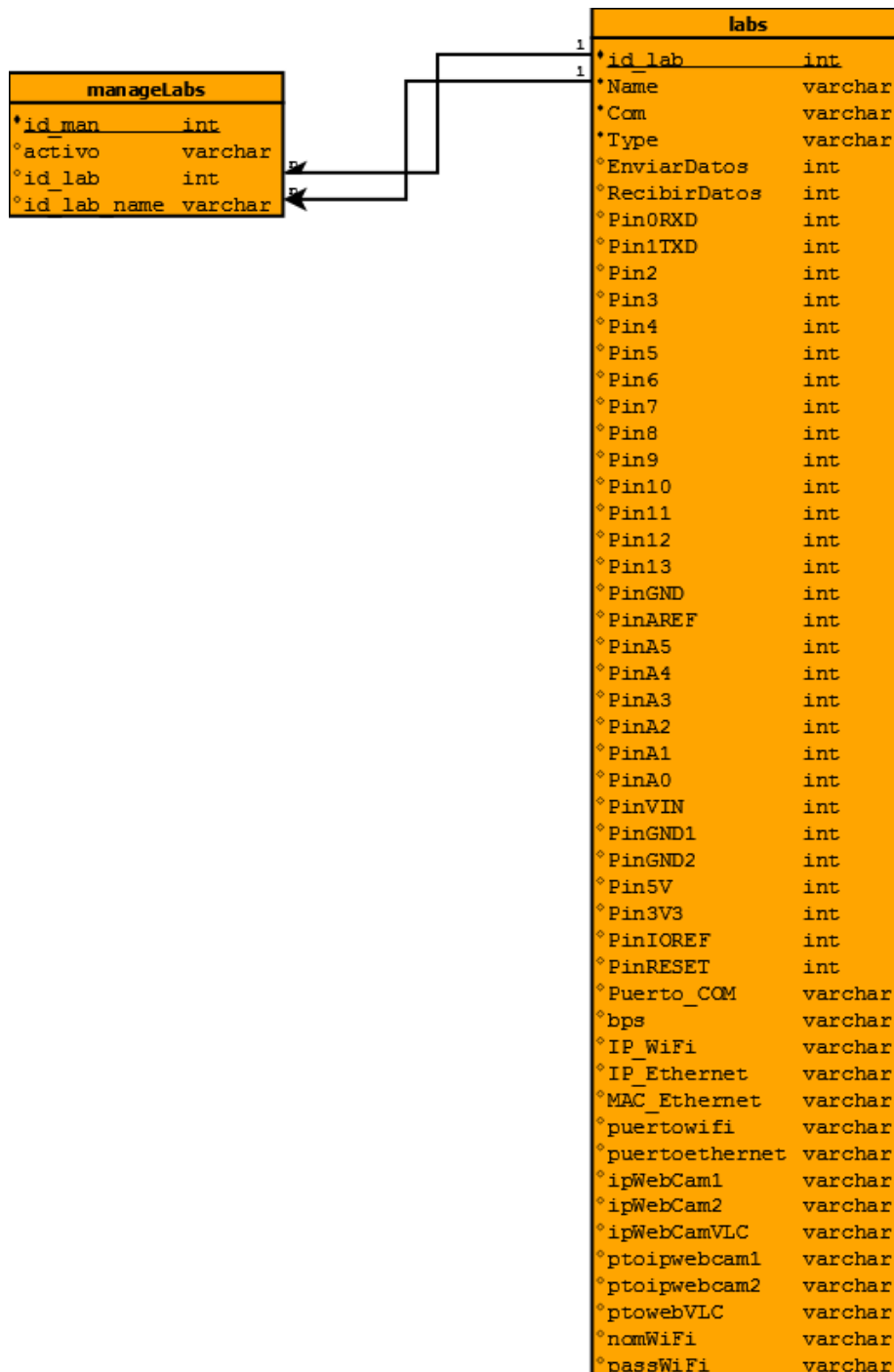


Figura 4.47. Relación del hardware del laboratorio en la base de datos.

➤ Gestión de usuarios:

Necesaria para una correcta administración de los laboratorios y gestión de colas referentes a cada uno de ellos, sus diferentes derechos de acceso en función de si son administradores, tutores o alumnos, así como fundamental para autorizar, o no, los accesos a los laboratorios mediante los pertinentes mecanismos de reservas, uso, o tiempo asignado para cada laboratorio. En la Figura 4.48 pueden apreciarse las combinaciones indicadas.

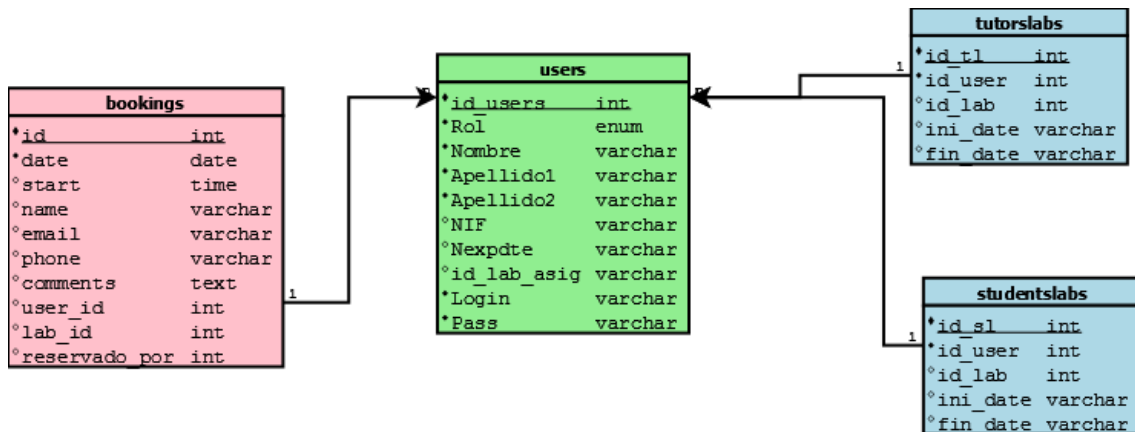


Figura 4.48. Relación entre usuarios y reservas.

➤ Interacción entre usuarios y laboratorios:

Lo que permite gestionar la interrelación entre todos los actores del sistema. No solo con los diferentes tipos de usuarios, facilitando el acceso a informes de uso, horas de acceso, ficheros subidos, capacidad de reserva vía calendario o asignaciones directas mediante horas, o intervalos de días, así como si estos laboratorios están o no ocupados y el tiempo restante hasta su liberación para poder ser utilizados de nuevo, o incluso si están activos o no para permitir su acceso. En la Figura 4.49 se aprecian las citadas relaciones.

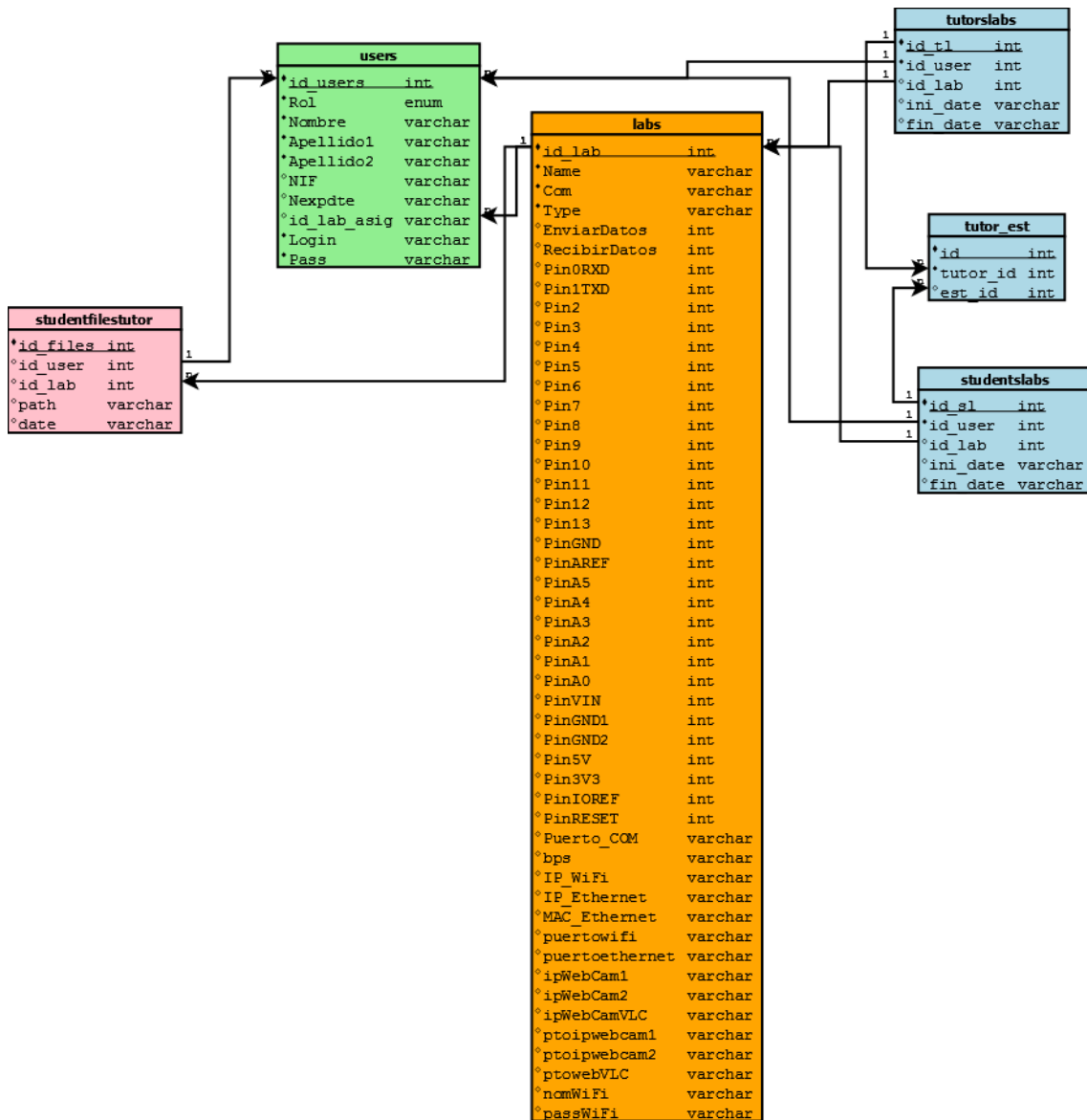


Figura 4.49. Relación entre usuarios y laboratorios.

Definidos los niveles pertinentes es necesaria una adecuada cadena de interrelaciones entre todos ellos para garantizar el funcionamiento correcto de los mismos. La agrupación completa de relaciones entre todo el sistema de gestión y administración de usuarios y laboratorios se muestra en la Figura 4.50.

Gracias a este esquema el sistema es capaz de controlar el uso de los laboratorios sin descuidar el seguimiento de los usuarios en los mismos, garantizando el acceso adecuado en cada caso y gestionando la disponibilidad, ocupación, o uso de cada laboratorio.

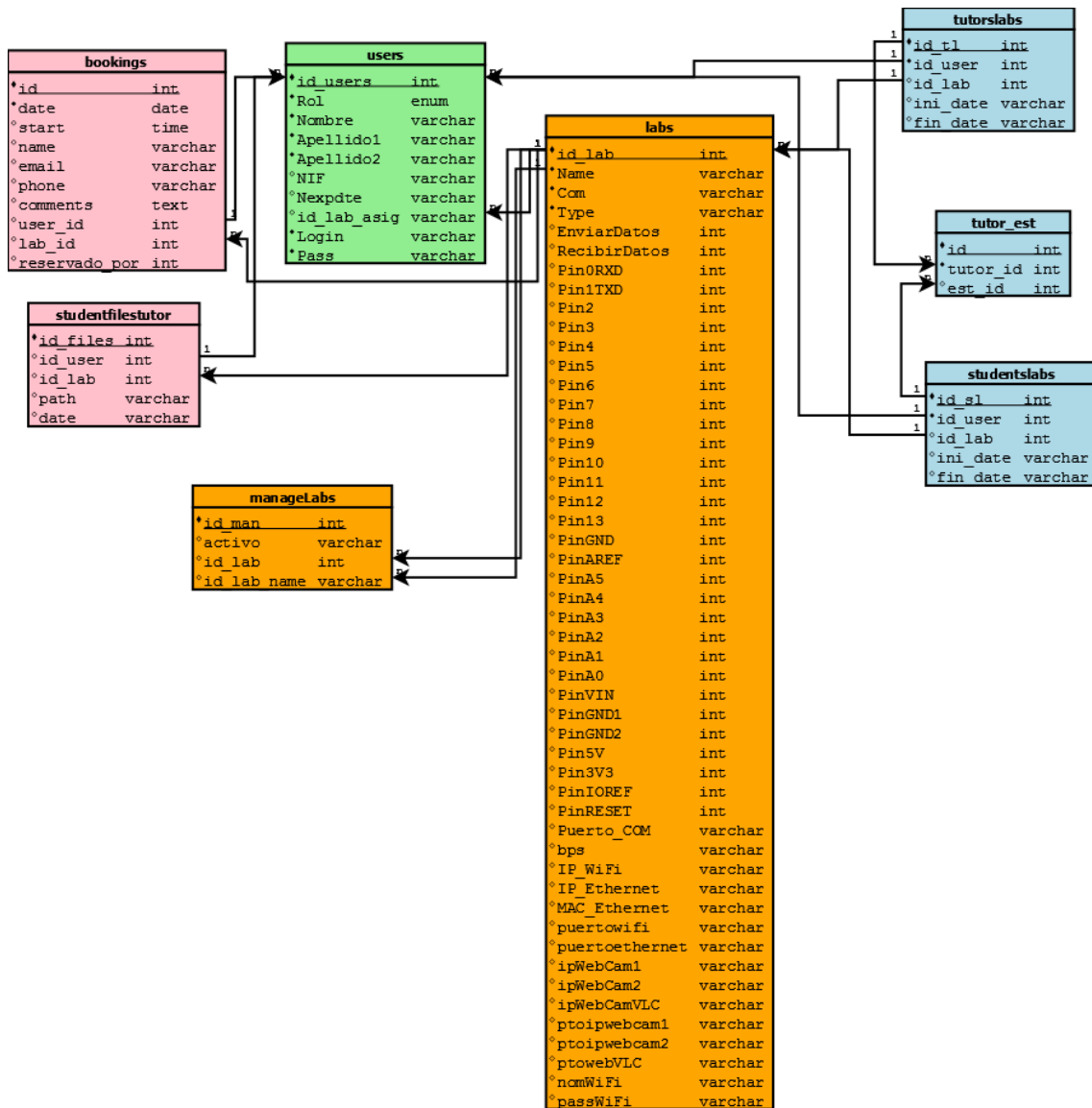


Figura 4.50. Relación completa de la base de datos entre usuarios, laboratorios y reservas.

4.9. Conclusiones

A largo de este apartado se ha realizado un recorrido completo sobre el itinerario de investigación seguido. Para ello aparte de exponer las herramientas utilizadas tanto de software como de hardware, se ha profundizado en las diferentes opciones existentes y en las razones por las que se han utilizado unas y no otras.

Se ha indicado la razón por la que finalmente se ha utilizado un paquete de software completo para la gestión de la plataforma del servidor, WampServer, pero se han descrito cada una de las herramientas que lo componen y su importancia para el sistema.

Se ha explicado porqué es importante el uso de herramientas como la cámara web para que el alumno sea capaz de visualizar las evoluciones que provocan en el equipo robotizado su manipulación remota, permitiendo así una mayor identificación con el efecto acción-reacción en el uso del laboratorio. Para ello se ha realizado un

recorrido completo por las diferentes opciones que se han evaluado y probado durante esta investigación.

Se ha mostrado la importancia de factores como el acceso al hardware del laboratorio mediante el análisis de diferentes protocolos de comunicación. Los sistemas de comunicación seleccionados en los apartados anteriores se han elegido por ser los más habituales. Como se indica, de todos ellos, la opción Ethernet se ha mostrado como la más cómoda de cara al usuario final, si bien debe tenerse en cuenta que el shield Wi-Fi tendría a su favor la reducción del cableado en el laboratorio, [126].

Una vez asentadas las herramientas básicas a utilizar, se ha procedido a desglosar paso a paso la filosofía del sistema SiLaRR, su esencia y su objetivo. Para ello se han utilizado esquemas que han permitido entender el concepto de caja negra y la sencillez de uso del sistema por parte del usuario. Todo ello sin olvidar comentar y analizar los efectos generalizados que han permitido ampliar el uso de este sistema a otros laboratorios sin equipos robotizados.

El recorrido previo era necesario para entender el funcionamiento del corazón del sistema, la AGI, o API de gestión inteligente. Esta AGI es el instrumento fundamental que pone en comunicación el equipo robotizado y/o el hardware del laboratorio, con el servidor principal, permitiendo el despliegue del laboratorio a través de Internet y el uso del mismo por parte de los alumnos a través de dispositivos fijos y terminales móviles con un simple navegador como herramienta en el lado del cliente.

Finalmente, el análisis de la estructura de la base de datos diseñada para controlar, gestionar y coordinar el acceso y la instalación del sistema, así como su actualización en base a cada laboratorio, ha completado este apartado para permitir la comprensión completa de SiLaRR cuyo funcionamiento y estructura interna se desglosa de manera particularizada en el capítulo siguiente.

*“When you are wrestling for possession of a sword,
the man with the handle always wins.”*

*[Cuando se pelea por el control de una espada,
siempre gana quien sostiene la empuñadura.]*

— Neal Stephenson, Snow Crash

Capítulo

5

5. Implementación y desarrollo del sistema

Una vez descritas las características del hardware y software utilizados para diseñar, desarrollar e implementar SiLaRR, se mostrará cómo funciona, paso a paso con ejemplos de uso real.

La premisa básica que se ha conservado intacta a lo largo de toda la investigación y el posterior desarrollo ha sido siempre la tendencia a simplificar. Esto ha provocado en varias ocasiones la necesidad de complicar la codificación e implementación para que el usuario tenga a su alcance en todo momento las herramientas necesarias para la instalación de sus laboratorios robotizados.

Por otra parte se debe destacar que el enfoque de toda la investigación ha estado orientado a permitir que cualquier persona aficionada a la robótica, colegios, sin profesores excesivamente cualificados en ingeniería, pero sí con ganas de enseñar y divulgar, instituciones educativas, empresas y en general interesados con bajo presupuesto económico, mucha motivación y afán por mostrar a los demás las posibilidades de la tecnología, se puedan servir de SiLaRR para desplegar en Internet sus desarrollos.

Siendo la divulgación y la formación pilares básicos de este proyecto, se ha valorado también la reducción del tiempo de instalación y configuración por parte del usuario, y el acceso al software cuya licencia se ha decidido definir como GPLv3, [152], para conservar el perfil de todo el software y hardware libre que se han empleado en su desarrollo.

5.1. Lado del servidor

La estructura elegida para el lado del servidor viene soportada por el paquete WampServer previamente citado. No debe olvidarse que el sistema operativo para el que se ha diseñado SiLaRR es Windows, con lo que este paquete facilita la instalación y configuración de un servidor completo de una manera rápida y sencilla en este entorno.

No obstante, si se quisiera instalar dicho paquete de manera directa, el usuario se vería en la necesidad de realizar ajustes y configuraciones para los que no necesariamente tendría que estar preparado. SiLaRR simplifica dicha configuración inicial solicitando al usuario los datos necesarios para llevarlo a cabo durante el avance de la instalación a través de la interfaz diseñada para ello. Configurando, al final de la misma, todo el sistema para empezar a utilizarlo desde el primer momento.

WampServer cuenta con las versiones de Apache, MySQL y PHP descritas anteriormente, para permitir el despliegue inmediato de un servidor completo.

Las pruebas de uso llevadas a cabo con SiLaRR se han realizado desde un PC, con Windows 7, Windows 8 Pro y Windows 8.1 Pro de 64 bits, para garantizar que el acceso al sistema, ya sea por uno o varios alumnos, a uno o varios laboratorios, se pudiera gestionar de manera correcta.

Si bien, se recomienda un PC dedicado a las labores de servidor, es necesario recordar que el hardware utilizado; Arduino; cuenta con los respectivos espacios para albergar tarjetas SD en las shields Ethernet y Wi-Fi. En base a las características descritas para la configuración con WampServer, sería posible implementar, en teoría, un servidor similar utilizando tarjetas SD previamente configuradas haciendo que la carga de trabajo de los accesos al sistema y a los laboratorios fuera soportado por el microcontrolador de Arduino y las propias shields. En ese caso deben tenerse en cuenta las características de procesamiento del microcontrolador que incorpora Arduino, [136], y que no está diseñado para actuar como lo haría un ordenador.

Por ese motivo esta opción no se contempla inicialmente por las propias características del hardware que no está diseñado para albergar un sistema operativo ni para realizar labores de alojamiento de un servidor tradicional. Podrían surgir problemas relacionados con la sobrecarga del sistema que derivarían en problemas de acceso a los laboratorios o a una mala gestión de los datos de usuarios que dificultarían el correcto funcionamiento del laboratorio.

No obstante las opciones en hardware libre previamente citadas, Raspberry Pi y BeagleBone, y en concreto está última por las características de soporte analógico ya vistas, si están diseñadas para albergar sistemas operativos y configurarlos para permitir el acceso al hardware directamente a través de un servidor embebido en una tarjeta SD. Si bien en ambas se utilizan variantes de distribuciones Unix/Linux, en el caso de BeagleBone es posible también la instalación de un sistema Windows.

Dado que estas últimas opciones de hardware si están pensadas para soporte de sistema operativo integrado con hardware, posiblemente el sistema sería más estable. Como SiLaRR ha sido diseñado para sistemas operativos Windows y dado que el hardware elegido para su desarrollo ha sido inicialmente Arduino, no se han realizado pruebas con este otro hardware alternativo, con lo que no se ha podido comprobar su funcionamiento.

Por otro lado y desde el punto de vista de la seguridad, debería tenerse en cuenta que el uso de tarjetas SD para almacenar los datos de los usuarios y la configuración de los laboratorios puede ocasionar un posible problema de seguridad dado que, o bien se tiene rigurosamente controlado el acceso físico al laboratorio, o bien se corre el riesgo

de que alguien tenga acceso a la tarjeta y se lleve con ella toda la implementación así como, en función de los datos guardados en ella sobre los usuarios, importante información protegida por la Ley Orgánica de Protección de Datos (LOPD), [228].

Durante el proceso de instalación se pregunta al usuario si desea, o no, instalar determinado software. El objetivo es que el usuario cuente con las herramientas básicas necesarias para poder utilizar SiLaRR de manera óptima.

Durante dicho proceso lo primero que se pregunta al usuario es qué nombre y contraseña deseará utilizar con el servidor de SiLaRR (Figura 5.1). Este paso es fundamental porque dicha información será utilizada para configurar el lado del servidor.

Ya desde ese mismo momento se indica al usuario administrador determinados efectos a la hora de elegir o no un determinado nombre de usuario, así como posibles acciones posteriores necesarias motivadas por el uso de WampServer como paquete de configuración del servidor. En este caso se advierte de que WampServer siempre utiliza “root” como nombre de usuario administrador sin contraseña, con lo que si el usuario usa “root” como nombre, la contraseña elegida va a garantizar la seguridad del acceso, pero si utiliza otro nombre deberá eliminar al usuario “root” por defecto que crea WampServer o bien asignarle manualmente una contraseña posteriormente. Todo ello está debidamente documentado en los foros de WampServer, [229].

Figura 5.1. Recogida de datos durante el proceso de instalación para configurar el servidor.

Para ello se ha desarrollado el instalador de manera que los datos introducidos sean almacenados (Figura 5.2) durante todo el avance de la instalación para ser usados en los diferentes pasos de éste, hasta que termine todo el proceso.

```

...
message := ExpandConstant('{cm:PersonallInfo}');
passwordinfo := ExpandConstant('{cm>PasswordInfo}')
UserPage:=CreatelnputQueryPage(wpWelcome,message,

passwordinfo,ExpandConstant('{cm:TextolInfo}'));

UserPage.Add(ExpandConstant('{cm:UserInfo}'), False);
UserPage.Edits[0].Enabled := True;

{Habilita la opción de usuario para llamar con GetUserName }
UserPage.Add(ExpandConstant('{cm:ContrasInfo}'), True);
UserPage.Values[0] := "";
UserPage.Values[1] := "";
...

```

Figura 5.2. Implementación en Delphi de la recogida de datos durante el proceso de instalación.

Otra de las opciones que muestra la interfaz de instalación en una de sus secciones (Figura 5.3) es la de instalar, precisamente, la versión de WampServer 2.2e (en concreto el ejecutable WampServer2.2e-php5.4.3-httpd-2.4.2-mysql5.5.24-x64.exe). Por defecto la propia interfaz de instalación muestra seleccionado todo el software que es recomendable instalar para que SiLaRR funcione correctamente, si bien se permite al usuario no seleccionarlo, si así lo desea, bajo su propio criterio.

De nuevo se indican las opciones recomendadas. En este caso se advierte de la necesidad de que todo el software accesorio deberá instalarse en los directorios mostrados por defecto. De no hacerse así es posible que SiLaRR no funcione correctamente.

Desde el punto de vista de una persona con conocimientos a nivel de usuario de informática, se sigue el criterio de ir paso a paso y aconsejando en cada momento lo recomendable.

Puede apreciarse como incluso se incluye en el paquete de software preseleccionado el software de Arduino compatible con Arduino UNO R3 (el ejecutable arduino-1.0.5-r2.exe), así como el software necesario para la emisión en *streaming* de la cámara web del laboratorio, VLC (el ejecutable vlc-2.1.2-win32.exe) y Yawcam (el ejecutable yawcam_install.exe). Tanto el software de Arduino como el de VLC y Yawcam pueden ser actualizados al finalizar la instalación si existen nuevas versiones disponibles. No así el de WampServer, que ha sido específicamente elegido para este sistema, ya que cambios en las versiones de Apache, PHP o MySQL utilizadas, pueden requerir modificaciones en SiLaRR en un momento dado.

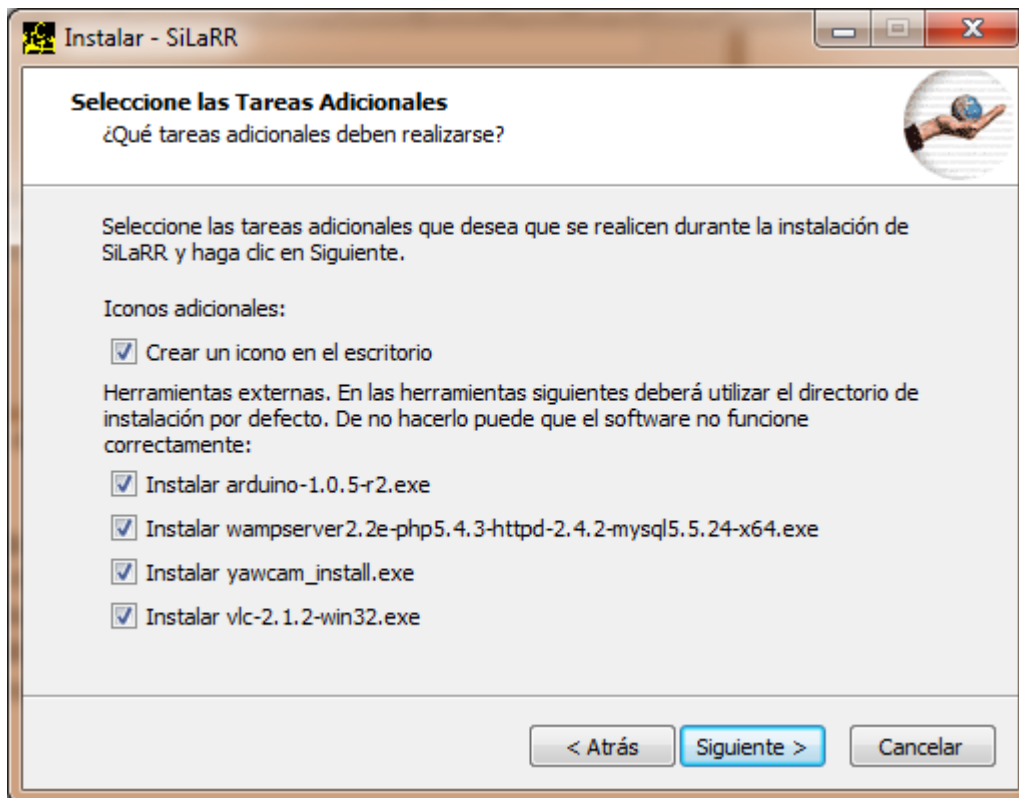


Figura 5.3. Gestión de instalación del software necesario recomendado para el correcto funcionamiento de SiLaRR.

Una vez se avanza hasta la última pantalla, se muestra el dato del nombre de usuario elegido para la administración del servidor (Figura 5.4). También se muestra la contraseña, si bien como es lógico, oculta con los símbolos “*****”. Si se desea cambiar alguna de las opciones elegidas previamente este es el momento de hacerlo y volver atrás. Si no, el instalador comenzará a hacer su trabajo y a preparar el entorno en el que SiLaRR se desplegará.

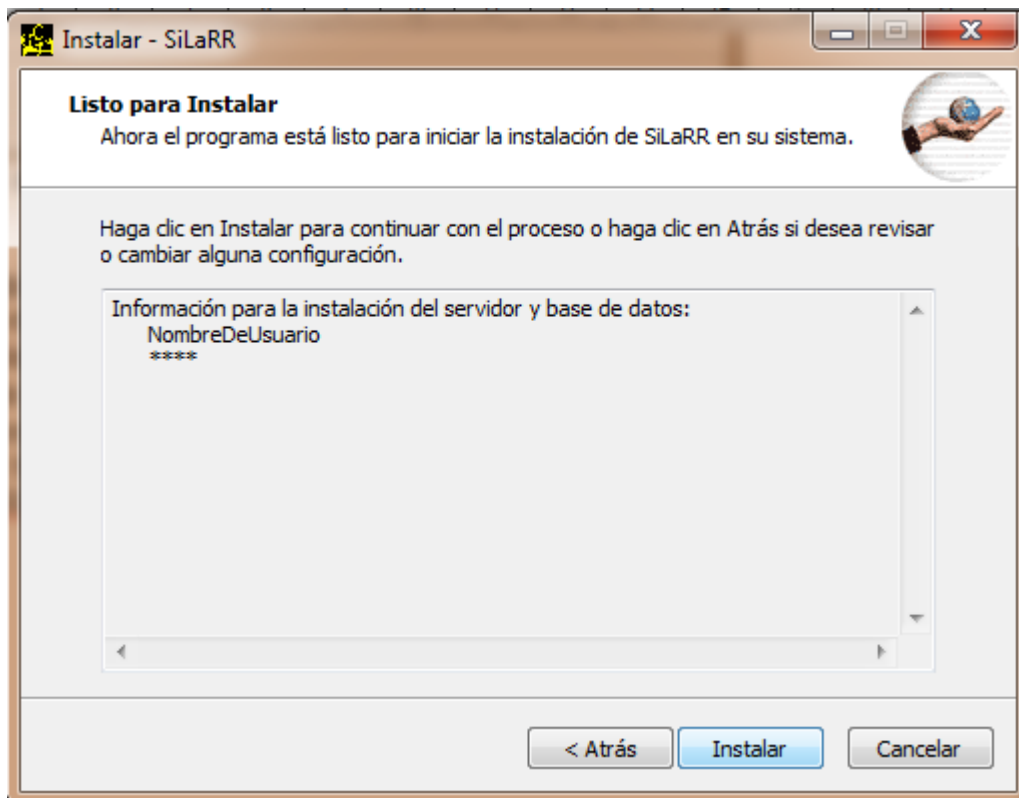


Figura 5.4. Ventana de comprobación de datos para SiLaRR.

Si todo es correcto y se acepta continuar con la instalación, el instalador procederá a descomprimir el software deseado y comenzará el proceso de instalación de cada uno de los ejecutables seleccionados.

En este caso y dado que estamos analizando el lado del servidor, será WampServer el software a instalar, con lo que se nos mostrará la interfaz que el instalador de WampServer tiene para ello (Figura 5.5). Bastará con seguir la configuración de instalación por defecto y esperar a que acabe el proceso de instalación de WampServer.

En caso de que el usuario ya tuviera instalada esa versión de WampServer en su PC en el directorio por defecto; así como parte, o todo, el software ofrecido; puede en cualquier momento cancelar la instalación de cada software o simplemente deseleccionar las casillas pertinentes en la interfaz del instalador de SiLaRR.

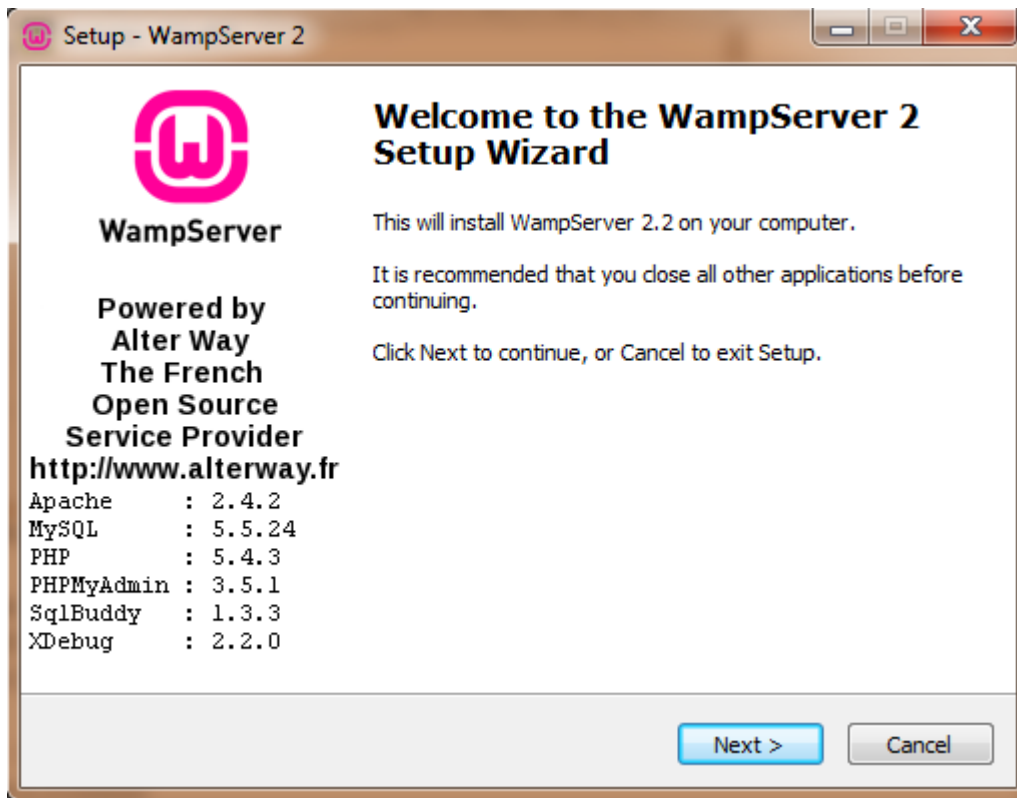


Figura 5.5. Interfaz de instalación de WampServer.

Es importante precisar que si se instala WampServer deberá ejecutarse antes de seguir con la instalación de SiLaRR. Lo mismo ocurre si ya se tiene instalado, en ese caso, deberá encenderse antes de continuar con la instalación o de manera previa a iniciar la misma. Para comprobar que WampServer está encendido y funcionando correctamente deberá aparecer un icono verde (Figura 5.6) en la barra de inicio de Windows. El proceso de comprobación de WampServer es colorear el icono primero con color rojo, luego con color naranja y finalmente con color verde. Solo en este último caso será indicativo de que todo es correcto.



Figura 5.6. Confirmación de que WampServer está funcionando correctamente.

Si no aparece ningún icono se habrá creado un acceso directo a WampServer en el escritorio sobre el que haciendo doble clic se iniciará el proceso de ejecución del servidor. Si fuera necesario acudir al acceso manual, el directorio de instalación por defecto del ejecutable de WampServer es “C:\wamp\wampmanager.exe”.

Como ya se ha descrito, si el usuario tenía ya instalado WampServer en su sistema operativo y ha decidido no instalarlo con SiLaRR deberá asegurarse igualmente de que está funcionando antes de continuar con la instalación. Solo es necesario que WampServer esté encendido, pero no es necesario que esté desplegado en Internet.

Una vez comprobado que WampServer está funcionando el usuario puede continuar con la instalación. Se mostrará y cerrará rápidamente la ventana de terminal de consola mientras se están configurando los datos en el servidor (Figura 5.7) para indicar al usuario que el instalador aún no ha terminado el proceso.

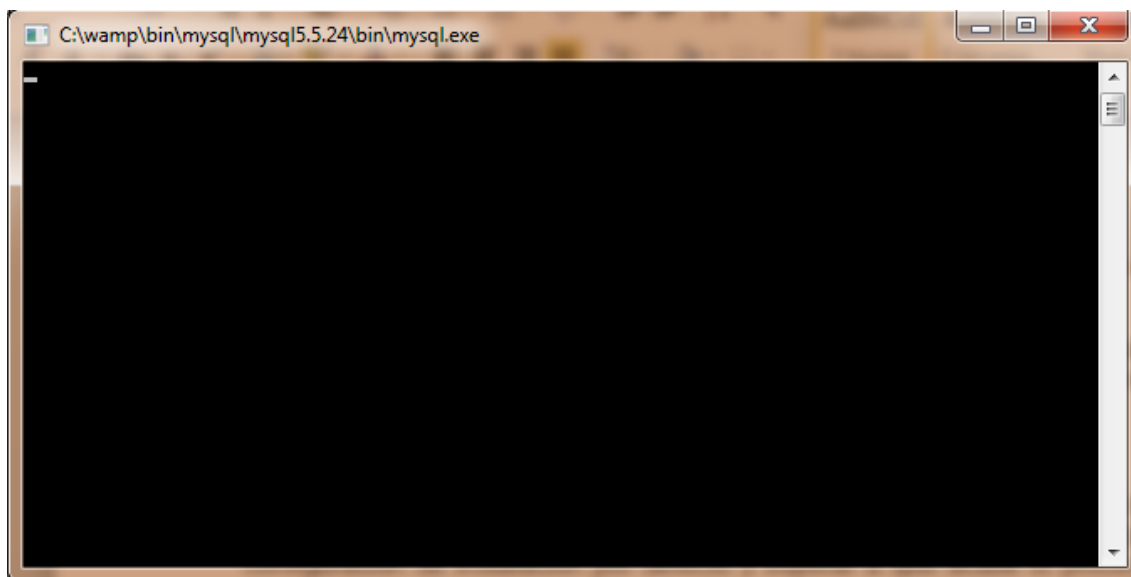


Figura 5.7. Instalador gestionando cambios en el servidor automáticamente.

Durante el tiempo que dura este proceso se están realizando los cambios pertinentes en el servidor a través de la compilación de diferentes funciones desarrolladas en Delphi expresamente para ello. Por un lado, unas destinadas a configurar directamente en MySQL los datos de usuario y contraseña necesarios para utilizar posteriormente la base de datos (Figura 5.8).

```
...  
Filename: C:\wamp\bin\mysql\mysql5.5.24\bin\mysql.exe; Parameters: " --user=root --  
password= -e ""grant all privileges on *.* to '{code:GetUserName}'@'localhost' identified by  
'{code:GetPassword}' with grant option""; WorkingDir:C:\wamp\bin\mysql\mysql5.5.24\bin\  
StatusMsg: {cm:ConfMysql};  
  
Filename: C:\wamp\bin\mysql\mysql5.5.24\bin\mysql.exe; Parameters: " --user=root --  
password= -e ""grant all privileges on *.* to '{code:GetUserName}'@'%' identified by  
'{code:GetPassword}' with grant option""; WorkingDir:C:\wamp\bin\mysql\mysql5.5.24\bin\  
StatusMsg: {cm:ConfMysql};  
...
```

Figura 5.8. Código fuente implementado para lanzar los cambios necesarios en MySQL con los datos del usuario.

Por otro lado, otras destinadas a actualizar esa misma información en la configuración de administración de WampServer para que coincida con la nueva información actualizada en la base de datos (Figura 5.9).

```

...
procedure CurStepChanged(CurStep: TSetupStep);
var
  Pathphp : string;
begin
  if CurStep = ssDone then
  begin
    Pathphp := 'C:\wamp\apps\phpmyadmin3.5.1\config.inc.php';

    if ReplaceValue(ExpandConstant(Pathphp), '['user']', GetUserName(UserName)) then
    if ReplaceValue(ExpandConstant(Pathphp), '['password']', GetPassword(Password))
    then
      MsgBox(ExpandConstant('{cm:TextCambiado}'), mbInformation, MB_OK)
    else
      MsgBox(ExpandConstant('{cm:TextNoCambiado}'), mbError, MB_OK);
    end;
  end;
end;
...

```

Figura 5.9. Función desarrollada en el instalador que introduce los parámetros previamente solicitados y lanza el aviso adecuado en caso de éxito o error.

Finalmente se podrá ejecutar SiLaRR si se desea y se mostrará un mensaje de confirmación (Figura 5.10) indicando si los datos de usuario y contraseña han sido correctamente actualizados en el servidor.

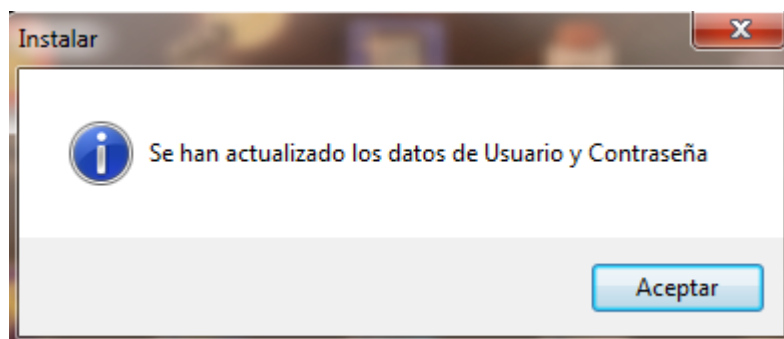


Figura 5.10. Mensaje confirmando la actualización correcta de datos de usuario administrador.

De la misma forma el instalador habrá configurado los archivos necesarios para, posteriormente, utilizar el servidor del sistema. Para ello ha creado y desplegado, en la carpeta del servidor por defecto de WampServer, los archivos necesarios en base al idioma seleccionado previamente (Figura 5.11). Todas las funciones a las que posteriormente tendrá acceso el usuario administrador y los usuarios clientes, ya sean tutores o alumnos, están repartidas en el software de los diferentes archivos contenidos en esta carpeta.

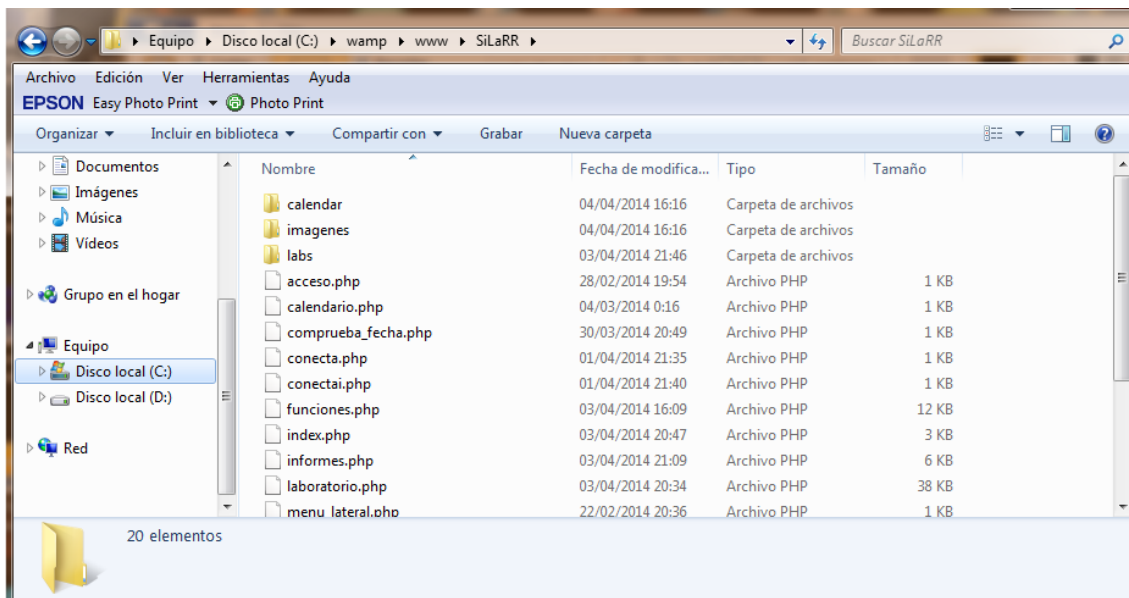


Figura 5.11. Directorio de instalación del servidor de SiLaRR.

En este momento el sistema ya estará operativo para empezar a ser utilizado. Los datos de usuario y contraseña de administrador serán solicitados cuando se utilice SiLaRR, por lo que es recomendable que se guarden en lugar accesible y seguro durante el proceso de creación de los laboratorios y su alta en el sistema.

Los laboratorios se van almacenando en la carpeta “labs” de manera individualizada, mediante la creación automática de una carpeta para cada uno de ellos y de sus archivos. Toda la gestión de los datos necesarios para el funcionamiento correcto de dichos laboratorios se realiza mediante consultas directas a la base de datos del servidor, esto es así para garantizar que cualquier cambio realizado en la web del servidor, en cualquier laboratorio, se actualice automáticamente en los archivos pertinentes de ese laboratorio. Eso aumenta la complejidad en el diseño y desarrollo de SiLaRR, pero garantiza al usuario final el ya citado funcionamiento de caja negra, facilitando su trabajo de gestión.

Los únicos archivos que el usuario deberá recompilar, y para ello SiLaRR incorpora las herramientas necesarias para hacerlo siguiendo unos sencillos pasos, son los que responden al código fuente del hardware y que deben cargarse en el Arduino.

En lo referente a WampServer es necesario indicar que por norma general no harán falta modificaciones en el sistema, sobre todo en el caso de que el protocolo de comunicaciones utilizado sea vía USB. No obstante, si se quiere utilizar el shield Ethernet o Wi-Fi se debe habilitar la extensión “php_sockets” en PHP. Para ello es suficiente con ir al icono verde de WampServer, pulsar sobre él con el botón izquierdo del ratón, seleccionar “PHP”, seleccionar “Extensiones de PHP”, y allí habilitar la extensión “php_sockets” pulsando sobre ella con el botón izquierdo del ratón (Figura 5.12). Una vez hecho esto bastará con apagar y volver a iniciar WampServer para que dicha extensión esté activada.

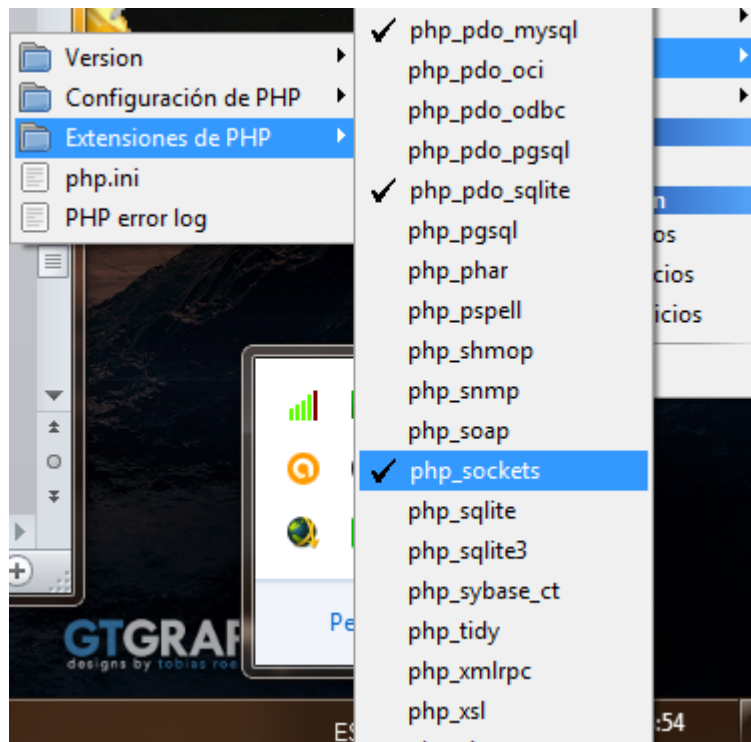


Figura 5.12. Activación de extensión “php_sockets” en WampServer.

La extensión “php_sockets” permite habilitar las comunicaciones utilizando sockets de comunicaciones con direcciones IP como las proporcionadas por los shield Ethernet y Wi-Fi. No interfiere para nada con la opción de utilizar USB por lo que es recomendable que siempre esté activada dicha extensión. Uno de los errores comunes más habituales cuando se producen problemas en la comunicación con los citados shields, es precisamente no haber previamente activado esta extensión.

Terminado este proceso el servidor ya está correctamente configurado. En este entorno, SiLaRR, permitirá al usuario crear los diferentes laboratorios, dar de alta o de baja a los usuarios de los mismos y modificar o eliminar los laboratorios creados.

Una vez que los laboratorios y usuarios estén configurados será necesario desplegar el servidor en Internet. Para ello habrá que pulsar de nuevo con el botón izquierdo del ratón sobre el icono de WampServer de color verde y pulsar, también con el botón izquierdo la opción “Encender” (Figura 5.13). Eso hará que el servidor configure Apache para que sea accesible desde Internet.

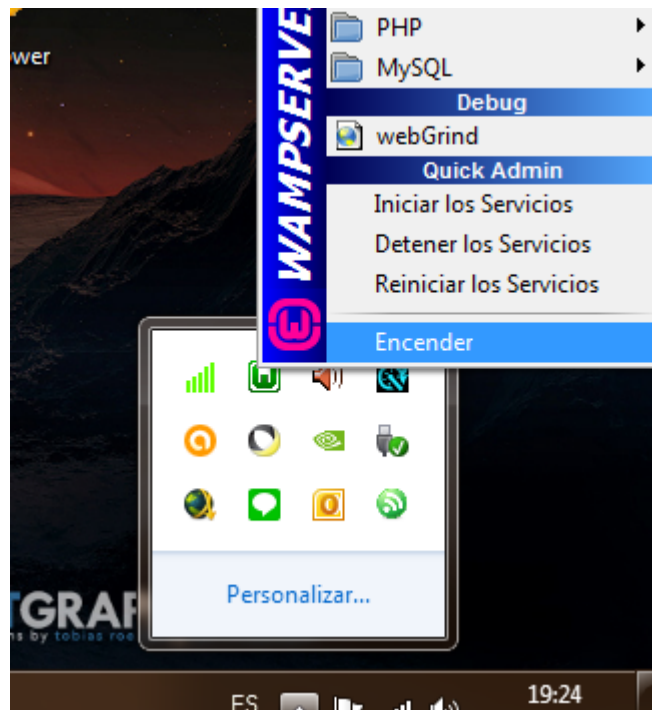


Figura 5.13. Desplegar WampServer en Internet.

No obstante y como en el caso del *streaming* de vídeo habrá que habilitar la apertura del puerto necesario; por defecto el puerto 80; para la IP del servidor, en el router que gestione la red a la que esté conectado el servidor.

En este caso al igual que ocurría con Yawcam, habitualmente, no es necesario realizar modificaciones en el cortafuegos de Windows ya que eso lo gestiona el propio WampServer. Se recuerda consultar el apartado 4.4.2 del Capítulo 4 en lo referente a los ajustes manuales en Apache si se desea utilizar VLC como gestor de vídeo en *streaming*.

Si el usuario desea profundizar más en el funcionamiento del servidor se recomiendan los propios foros de WampServer, [230], alguno de los tutoriales paso a paso existentes en Internet y que permiten personalizar diferentes configuraciones, puertos e incluso saber que ocurre realmente en Apache cuando el usuario pulsa “Encender” en WampServer, [231], y la página sobre cómo utilizar el cortafuegos de Windows de principio a fin, [232], de la propia Microsoft.

5.2. Lado del cliente

Desde el primer momento se ha buscado reducir la complejidad en el lado del cliente. Ello se ha conseguido a costa de sobrecargar la complejidad del desarrollo automatizando el mayor número de interacciones posibles desde el lado del servidor. De esta manera el usuario administrador tampoco tiene que soportar una elevada carga de trabajo de configuración manual.

Para ello y siempre buscando la facilidad del acceso, el entorno web del usuario cliente final se ha realizado con jQuery Mobile, garantizando así el acceso al mismo desde cualquier dispositivo móvil (*Smartphone*, iPhone, iPad) o fijo (PC o portátil) con un navegador compatible (Chrome, Internet Explorer, Firefox).

El sistema de accesos y reservas implementado para este trabajo se puede personalizar en función de las características propias de la institución, empresa o centro educativo que desee utilizarlo. No obstante es perfectamente funcional por sí mismo y se ha diseñado para que sea utilizado como configuración estándar. Para ello cumple las siguientes características:

- ✓ Control de inicio y fin de sesiones basado en el alta previa de usuarios por parte del usuario administrador en la base de datos propia de SiLaRR.
- ✓ Intervalos de reserva para uso de laboratorios fijado en un tiempo de treinta minutos.
- ✓ Consideración del domingo como día de mantenimiento semanal de laboratorios y por lo tanto no se permite la reserva de uso en dicho día. Si bien si está permitido el acceso en tiempo real sin reserva siempre que el laboratorio esté activo, incluso ese día.
- ✓ Se establecen dos tipos de reservas, las asignaciones directas realizadas por usuarios de nivel superior y que permiten reservar durante las veinticuatro horas del día, y las reservas por solicitud de alumno que solo permiten las reservas durante una jornada lectiva que va desde las 09:30 a las 19:30 horas.

Con estas combinaciones se ha intentado cubrir el mayor número de posibles casos de uso y escenarios desde el punto de vista del cliente. No obstante y dada la flexibilidad del sistema es perfectamente adaptable a otras situaciones particulares que pudieran producirse.

Si bien SiLaRR consta de un sistema de configuración inicial que debe ser utilizado por el usuario administrador desde el PC servidor, el acceso al sistema se despliega en Internet permitiendo el uso de los servicios web de una manera ordenada por cada uno de los usuarios registrados previamente, mediante un inicio de sesión (Figura 5.14).

Figura 5.14. Portal de acceso al sistema SiLaRR desde Internet.

La identificación del usuario cliente tiene tres niveles de autorización diferentes ordenados de mayor a menor autorización:

- Administrador: identificado como “admin” en la base de datos y que es el único usuario que tiene acceso al software de escritorio para la gestión de SiLaRR. El administrador es el usuario que interactúa directamente con la configuración de los laboratorios, con su hardware, con su software y que al mismo tiempo puede dar de alta y asignar laboratorios, en uso o en reserva, y también visualizar informes, de los dos niveles de usuarios inferiores a él: tutores y alumnos.
- Tutor: identificado como “tutor” en la base de datos deberá ser autorizado inicialmente por un usuario administrador para el uso de los laboratorios, tanto en fechas como en horarios, y para gestionar su cartera de alumnos. Una vez realizada esta autorización el propio tutor podrá acceder a los datos de uso de sus respectivos alumnos y a los laboratorios disponibles que podrá asignar a estos.
- Alumno: identificado como “est” en la base de datos. Es el usuario con menor nivel de autorización y solo tiene acceso a aquellos laboratorios que le hayan sido asignados por algún tutor o administrador, y aún en ese caso solo podrá acceder a los mismos previa asignación directa por los citados usuarios de nivel superior o bien previa solicitud de reserva autorizada en calendario.

Asimismo en SiLaRR se establecen dos tipos de laboratorios accesibles:

- Laboratorios individuales: cada laboratorio es independiente de cualquier otro. En este caso el nombre del laboratorio puede estar formado por cualquier carácter menos el símbolo “_”. Estos laboratorios funcionan de manera singular y no tienen ninguna relación con el resto de laboratorios del sistema.
- Laboratorios en anillo: cada laboratorio es una réplica o sustituto de los otros laboratorios que conforman el anillo. Los laboratorios en anillo deben

identificarse utilizando en su nombre el criterio “NombreDelLaboratorio_NúmeroCorrelativo”, por ejemplo “Brazo_1”, “Brazo_2”, “Brazo_3”, serían considerados por SiLaRR como laboratorios en anillo. Este tipo de laboratorios también se denominan, en otros estudios, laboratorios federados, [212].

Por otro lado y para controlar los accesos a los diferentes laboratorios se han establecidos los siguientes criterios de gestión de colas:

- Asignación previa de laboratorios: dicho criterio responde a que en algún momento un administrador (para el caso de un tutor o alumno), o un tutor (para el caso de un alumno) ha asignado previamente durante un intervalo de días, el uso de un determinado laboratorio. La asignación en intervalo permite, por ejemplo, conocer qué tutores y/o alumnos tienen disponible el acceso a ese laboratorio durante un periodo determinado. Una vez finalizado el periodo el acceso será restringido y deberá ser de nuevo autorizado por el usuario de nivel superior. Siempre que un laboratorio esté asignado el usuario podrá acceder a él de alguna de las maneras descritas en esta sección en función de su nivel de autorización (Figura 5.15), y en el caso del tutor, pulsando directamente en “Usar laboratorio”.

The screenshot shows a web application interface for SiLaRR. At the top, there is a 'Menú' button on the left and a 'Salir' button on the right. Below this is a 'Volver al laboratorio' button. The main section is titled 'Tutores' and contains a dropdown menu with 'Luis' selected. Below the dropdown are two date input fields: 'Fecha inicial:' with the value '01/04/2014' and 'Fecha final:' with a placeholder 'dd/mm/aaaa'. A calendar for 'abril de 2014' is open, showing the days of the week and dates. The 4th of April is highlighted in blue. Below the calendar is an 'Enviar' button. At the bottom of the page, the text 'Pedro Admin Root' is visible.

Figura 5.15. Asignación previa mediante intervalo temporal.

- Reserva previa de laboratorios: mediante esta acción el administrador o el tutor asigna la reserva de uso de un determinado laboratorio a los alumnos. El mecanismo de reserva permite anticipar usos del laboratorio con un criterio de planificación previo, ya que posibilita la reserva un determinado día desde una determinada hora, hasta el final del intervalo establecido por el sistema. Utilizando esta opción se permite realizar las reservas a lo largo de las 24 horas del día (Figura 5.16). Una vez que el intervalo de uso haya finalizado (los treinta minutos disponibles ya citados) el usuario no tendrá acceso al laboratorio.

Menú SiLaRR Salir

Volver al laboratorio

Usuarios

Pepe

Fecha:

09/04/2014

Hora:

10

Minutos:

30

Enviar

Luis Tutor Ruiz

Figura 5.16. Asignación previa mediante día y hora concretos.

- Reserva directa por hora disponible: este mecanismo está pensado para los alumnos que en un determinado momento deseen realizar por ellos mismos la reserva sin esperar a que su tutor la realice por ellos. En este caso la interfaz varía y se muestra un calendario con una leyenda de colores en el que se indica qué días están libres (color verde), parcialmente libres (color naranja), completamente ocupados (color rojo), no disponibles (color morado) o que ya han pasado (color gris oscuro) (Figura 5.17). En este caso la reserva es posible diariamente desde las 09:30 a las 19:30 horas, en intervalos de treinta minutos. El sistema cumplimenta automáticamente todos los datos del formulario del calendario utilizando la información contenida en SiLaRR sobre el usuario, excepto los comentarios que, si lo desea, puede indicar el alumno.

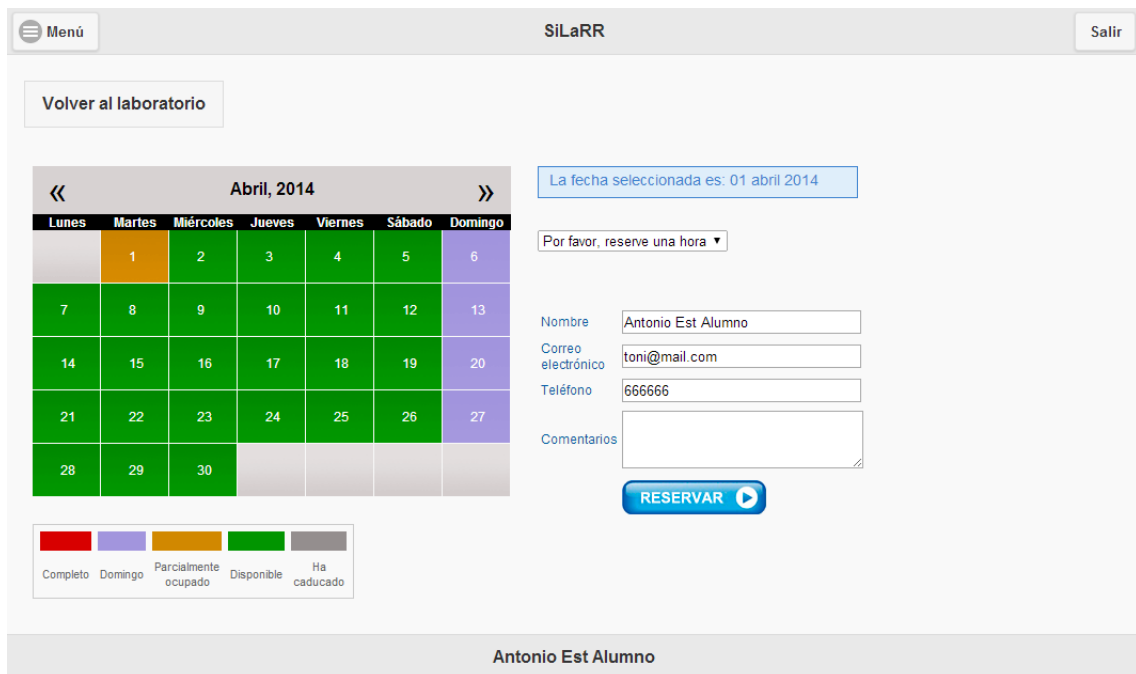


Figura 5.17. Asignación mediante reserva directa.

- Laboratorio individual ocupado: si en algún momento un laboratorio individual ha sido reservado y otro usuario accede a él, se le mostrará un contador indicando el tiempo que deberá esperar, en formato días:horas:minutos:segundos, hasta que el laboratorio quede libre (Figura 5.18).

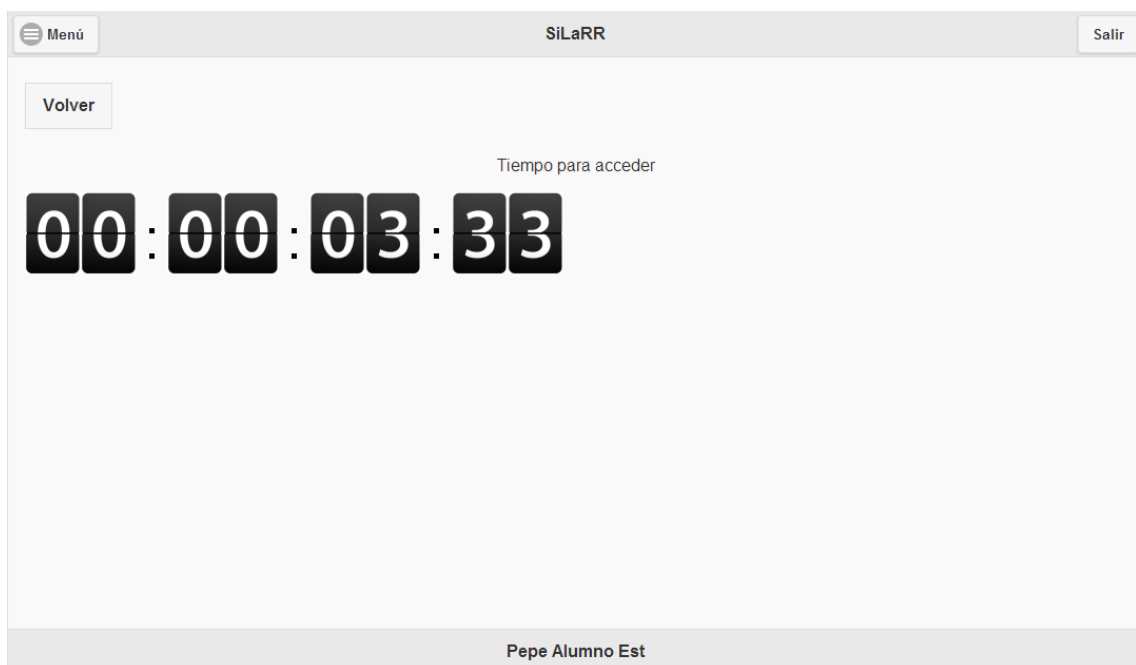


Figura 5.18. Contador de tiempo de espera en laboratorio ocupado.

- Laboratorio en anillo ocupado: cuando a un usuario se le asigna un laboratorio en anillo lo que realmente se le asigna es la posibilidad de acceso a todos los laboratorios del anillo. En el momento en que el usuario reserva uno de esos laboratorios si otro usuario distinto intenta acceder a él, el sistema recorrerá el anillo de laboratorios y le dará acceso al laboratorio asociado que esté disponible

en ese momento. Si no hay ninguno disponible se le indicará al usuario mediante un contador el tiempo que falta hasta que quede libre el laboratorio asociado más cercano en el tiempo, se realizará automáticamente la reserva de uso y el usuario solo tendrá que esperar a que se libere alguno de los laboratorios del anillo para acceder a él automáticamente (Figura 5.19).



Figura 5.19. Laboratorio accesible automáticamente una vez el laboratorio queda libre.

- Acceso directo a un laboratorio: los tres niveles de usuarios cuentan con la posibilidad de intentar acceder en cualquier momento a cualquiera de los laboratorios que tengan asignados (estén o no reservados) siempre que estos estén libres. Si no están libres aparecerá el contador indicando el tiempo de espera mínimo y se producirá la asignación de dicho laboratorio para ese usuario durante el siguiente intervalo disponible. En el caso del usuario administrador tendrá acceso a todos los laboratorios existentes, hayan sido o no creados por él, pero siempre respetando las prioridades de ocupación como ocurre con cualquier otro usuario de nivel inferior.

En definitiva, una interfaz fácil de usar, con la información disponible de manera visual y con acceso a través de terminales móviles y fijos, para que el usuario, ya sea alumno, tutor o administrador pueda acceder los servicios de manera cómoda.

5.3. Gestión y configuración del sistema

SiLaRR es un sistema integrado que busca simplificar en todo momento la configuración, gestión y despliegue de laboratorios remotos de robótica en Internet. Dadas las diferentes temáticas, usuarios y público al que pueden ir dirigidos los laboratorios todo el sistema se ha desarrollado en formato multilinguaje en español (castellano) e inglés. Teniendo en mente siempre la sencillez, SiLaRR supervisa todo el

proceso hasta que el laboratorio es efectivamente desplegado, recabando datos del usuario encargado de la instalación (el administrador) y permitiendo que este acepte o no una opción paso a paso, permitiéndole volver atrás cuando sea posible y llevándolo de la mano cuando sea necesario, evitando la toma de decisiones incorrectas siempre que se pueda. Para ello se diferencian tres ámbitos de actuación sobre los que se sustenta el desarrollo:

➤ Instalación:

El proceso de instalación se supervisa desde el inicio. En el apartado 5.1 ya se adelantaba como el propio instalador solicita al usuario los datos necesarios para configurar el servidor de SiLaRR. Pero ya incluso desde el primer momento en que se lanza, se muestran opciones, en este caso el idioma a elegir (Figura 5.20).

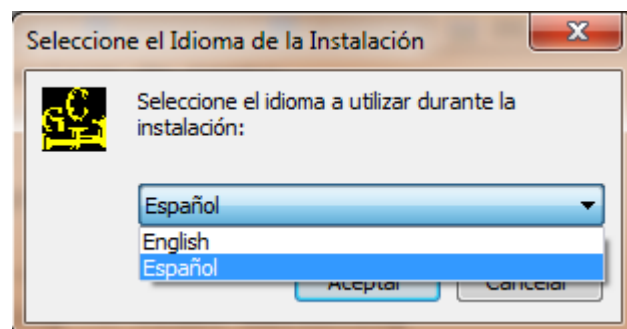


Figura 5.20. Selección de idioma del instalador.

Este paso, aparentemente trivial ya va a decidir operaciones posteriores muy importantes:

- ✓ El propio idioma del instalador desde ese momento.
- ✓ El idioma de la interfaz que se despliega en el servidor web, así como todas las páginas web que lo integran, sus diferentes secciones y utilidades como el calendario, y los avisos vinculados a éstas.

De esta manera se facilita al usuario entender y comprender correctamente los pasos necesarios que debe ir dando mientras el proceso de instalación está en marcha.

La gestión y selección de los ficheros a instalar, así como las herramientas de software necesarias ya mostradas en apartados anteriores, e incluso los datos para la configuración por defecto de la base de datos y del servidor se desgranar a través del código fuente específicamente implementado y desarrollado en Delphi para el instalador, y que se adjunta en el Anexo 2 como material complementario de esta tesis doctoral. Parte de él ya ha sido mostrado en el apartado 5.1.

Si bien el controlar desde el primer momento el proceso de instalación de SiLaRR puede entenderse como una tarea compleja y con una carga de trabajo elevada, a la larga no solo ha resultado ser beneficiosa para el usuario final al que descarga de ese peso, sino para la propia investigación de esta tesis doctoral ya que ha permitido al autor conocer de una manera más profunda y exhaustiva

el funcionamiento interno de las partes fundamentales del sistema desde la perspectiva de la línea de comandos. Algo que ha facilitado en gran medida las explicaciones que sobre SiLaRR se han podido ofrecer en este trabajo ya que nada ha quedado en manos de la mera gestión de software externo al sistema.

De la misma manera, si se decide desinstalar el sistema se deben seguir los pasos habituales para cualquier programa en Windows, dado que cuenta con la opción de desinstalar, tanto desde el botón de inicio (Figura 5.21) como desde la respectiva carpeta de instalación (Figura 5.22). Una vez se procede a la desinstalación de SiLaRR se eliminan todas las carpetas y archivos generados, pero se mantienen las carpetas y archivos subidos por los alumnos, así como los laboratorios creados y generados al usar SiLaRR.

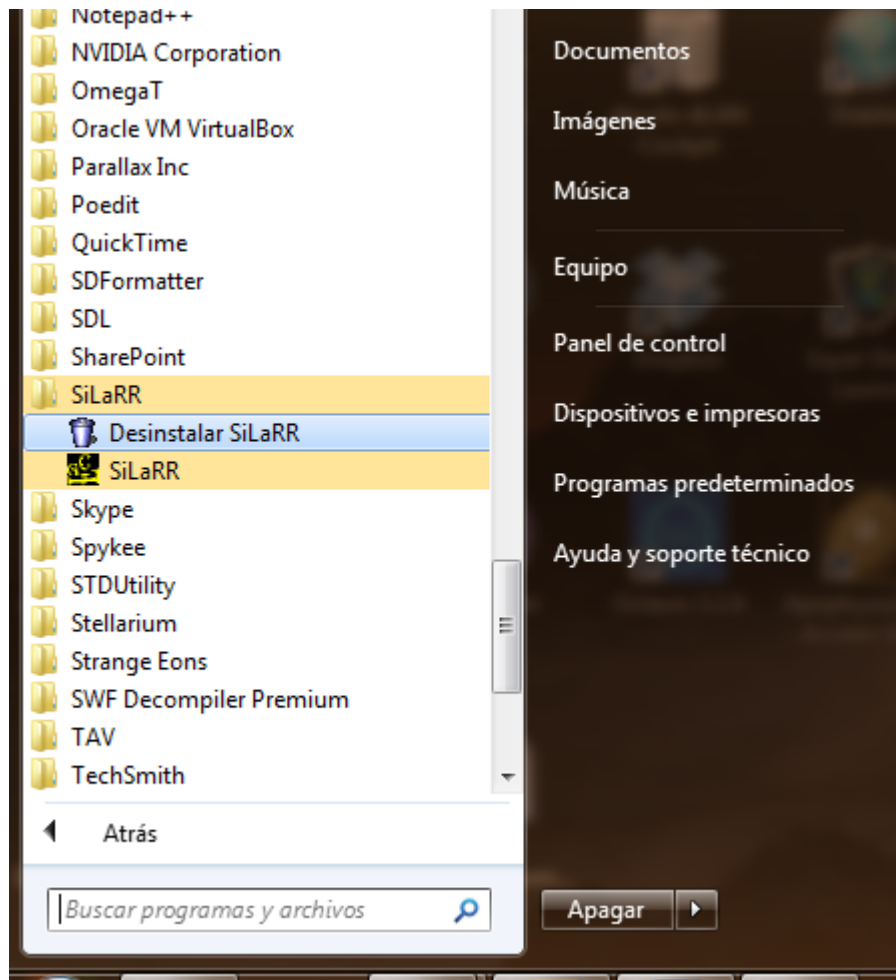


Figura 5.21. Desinstalación de SiLaRR usando el acceso rápido.

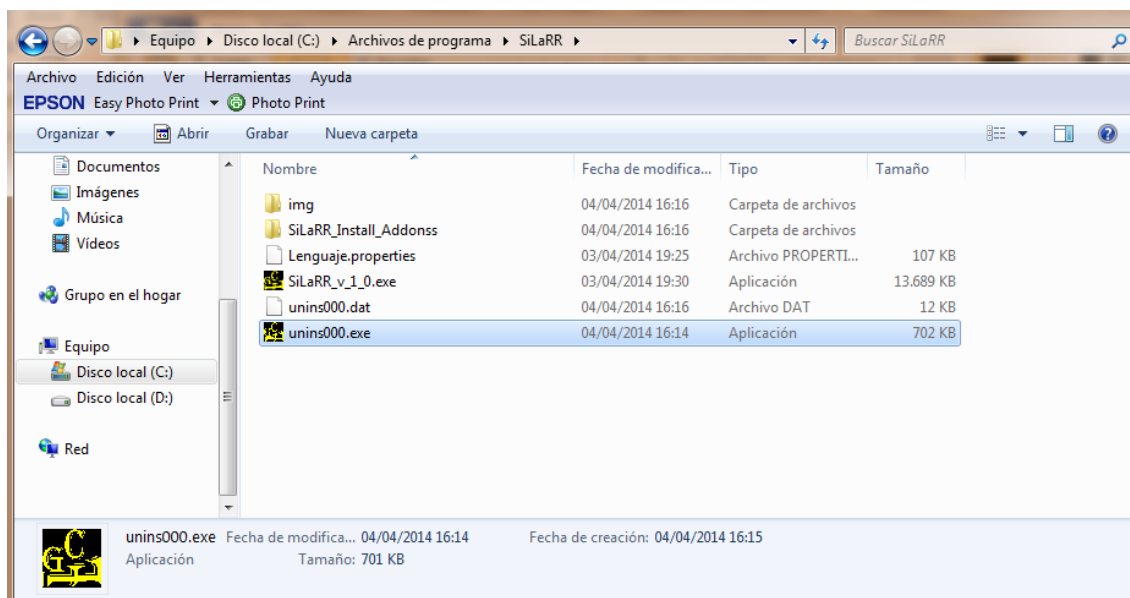


Figura 5.22. Desinstalación de SiLaRR desde la carpeta del programa.

➤ Integración del laboratorio:

La razón principal para desarrollar e implementar SiLaRR ha sido la búsqueda de un sistema que permita integrar laboratorios de robótica existentes o nuevos laboratorios de manera sencilla. Para ello es necesario contar con el laboratorio como referencia.

Dado que pueden existir laboratorios muy dispares y con características muy diferentes, se ha planteado SiLaRR como un sistema que permita ir añadiendo módulos, ya sea mediante programación en Java o directamente mediante enlaces utilizando el servidor web, permitiendo que sea un sistema vivo que pueda ir enriqueciéndose con nuevas aportaciones y creciendo albergando nuevos y diferentes laboratorios.

Debido a que una integración requiere un nexo común, y cuando hablamos de robótica el nexo común puede ser hardware, se decidió utilizar Arduino UNO R3 como herramienta básica de integración. De esa manera con un hardware único SiLaRR se ha ocupado de establecer un servicio de comunicaciones con Arduino que permita manipular al equipo robotizado, y el Arduino ha servido como plataforma a la que conectar los diferentes servicios que posee el equipo robotizado.

No obstante la integración no era el único objetivo, era necesario que dicha integración no fuera intrusiva. Tradicionalmente en un proceso de integración es necesario incluir o modificar hardware o software en el equipo para que funcione con el nuevo sistema. Eso puede llevar a dejar inutilizado el equipo robotizado para otros menesteres que no sean los del nuevo laboratorio integrado. Esa idea se rechazó radicalmente desde el primer momento y se sustituyó por el concepto de “integración no intrusiva”.

La integración no intrusiva permite utilizar Arduino como hardware de referencia y realizar en él los ajustes de software y hardware necesarios sin afectar al equipo robotizado. De esta manera si el equipo robotizado quiere usarse con SiLaRR bastará con conectar, a los pines del Arduino, el cableado necesario del equipo robotizado que se utilice para los servicios de los que se desea disponer. Si posteriormente se desea dejar de utilizar el equipo robotizado en SiLaRR, bastará con desconectar dichos cables del Arduino y el equipo robotizado volverá a tener un uso independiente del sistema sin haber sufrido daños, modificaciones o cambios en su hardware o software.

Con esa base como premisa a lo largo de este trabajo se han desarrollado tres módulos de SiLaRR para integración (dos de robótica y uno para laboratorios sin equipo robotizado), de manera completa, y dos módulos que han sido utilizados con éxito con una variante de Arduino, el Arduino Mega. Todos ellos se relacionan y analizan a continuación:

- **Brazo robotizado:** constituye el objetivo original de SiLaRR. El código en Arduino desarrollado permite una completa integración del brazo robotizado C-9895, [226], de la empresa Fadisel S.L., [233]. Dicho brazo cuenta con cinco grados de libertad y un led, todo perfectamente controlable utilizando SiLaRR.

Para ello se ha implementado un software específico para el servidor que permite controlar todos los servicios citados (Figura 5.23).

```

<table>
<tr><td><h1> Mueve tu robot usando esta Web:</h1></tr></table><div id="2"><table>
<th scope="col">Muñeca</th><th scope="col">Codo</th><th scope="col">Hombro</th><tr>
<td><button onclick="envia(MDELANTE)" style="height:50px;width:75px">Adelante</button></td>
<td><button onclick="envia(CDELANTE)" style="height:50px;width:75px">Adelante</button></td>
<td><button onclick="envia(HDELANTE)" style="height:50px;width:5px">Adelante</button></td>
/...
.../
<script>
//Leyenda de letras antes del movimiento M=Muñeca, C=Codo, H=Hombro, B=Base, P=Pinza. L=Led
var MDELANTE="0001"; var CDELANTE="0003"; var HDELANTE="0005";var MATRAS="0002";
var CATRAS="0004";var HATRAS="0006";var BDERECHA="0007";var BIZQUIERDA="0008";
var PABRIR="0009";var PCERRAR="0010";var LENCENDER="0011";var LAPAGAR="0012";
function envia(dato) {
$.ajax({type: "POST",
url:"index.php",
data: { mover: dato } }).done(function( msg ) {
});$('#mover').val(dato); }
</script>

```

Figura 5.23. Extracto del código implementado para controlar el brazo robotizado con SiLaRR.

También ha sido necesario realizar una implementación hardware complementaria al propio Arduino que consta de tres puentes en H con doble salida para gestionar dos motores cada puente, y una conexión estándar del LED hacia Arduino para controlar la iluminación del mismo. Para ello, y dadas las características hardware del propio brazo y teniendo en cuenta las características adicionales de protección con que cuenta en sus especificaciones, se realizó un esquema eléctrico básico (Figura 5.24) que permite controlar cada puente de manera independiente y con ello cada motor, con éxito.

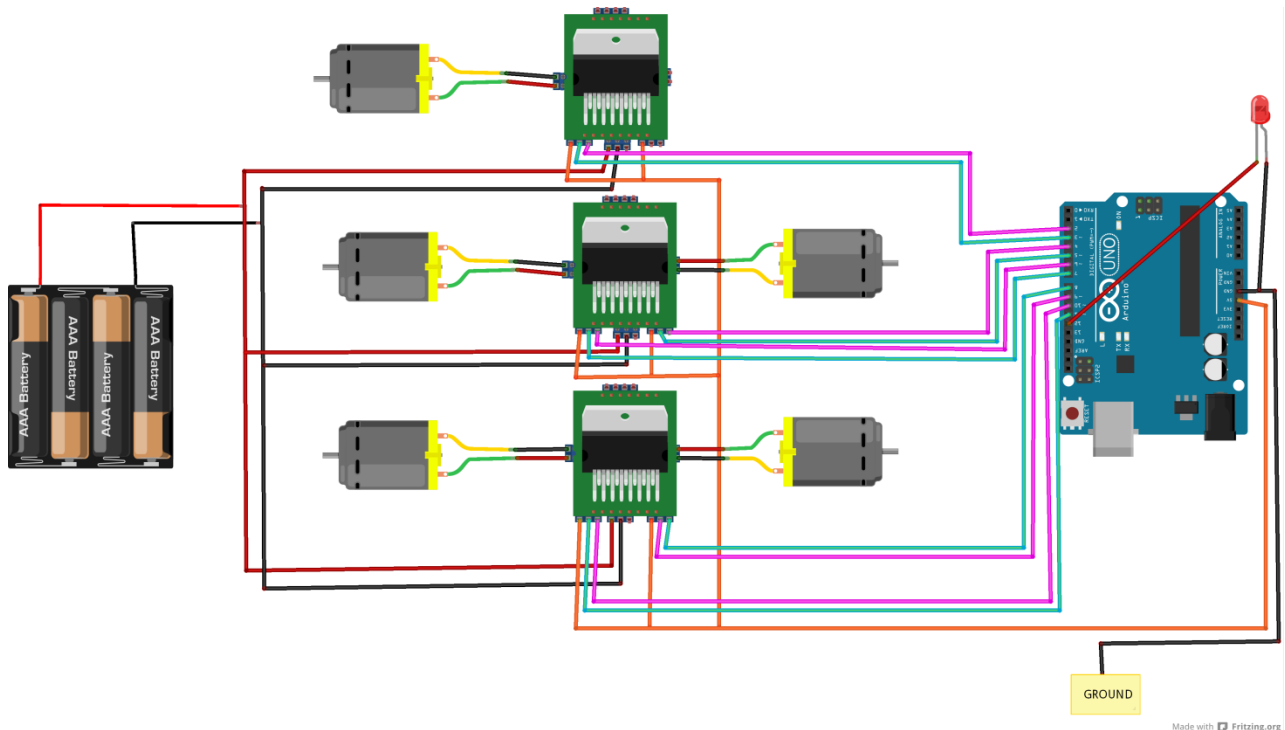


Figura 5.24. Esquema eléctrico complementario a Arduino para la conexión con el brazo robotizado y gestión de sus servicios con SiLaRR.

Es de destacar que los propios puentes en H y sus especificaciones, [234], no solo ayudan a estabilizar la gestión de los motores (Tabla 5.1) permitiendo que se muevan a derecha o izquierda en función de la activación o no de cada pin de referencia, sino que, gracias a su propia configuración eléctrica, evitan posibles problemas de sobrecarga tanto en el Arduino como en los propios motores.

| EA | I1 | I2 | Motor A estado |
|-----|----|----|----------------------|
| » 0 | 0 | 1 | Rotación horaria |
| » 0 | 1 | 0 | Rotación antihoraria |

Tabla 5.1. Tabla de verdad de puente en H L298.

Cada puente en H cuenta con un circuito integrado ST L298N, [235], que es el que hace posible que todo funcione adecuadamente (Figura 5.25).

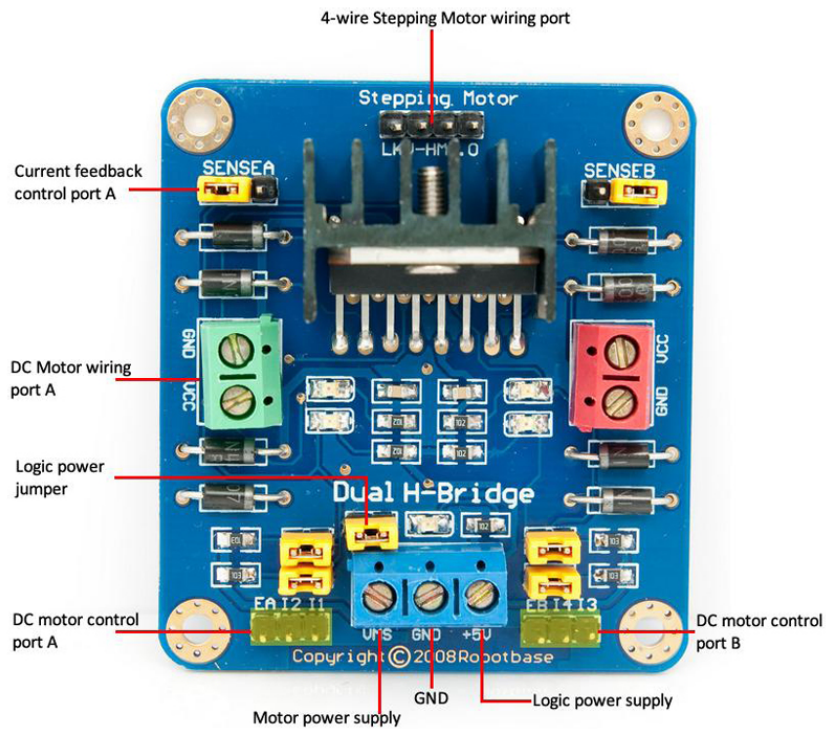


Figura 5.25. Puente en H dual con circuito integrado ST L298N e indicaciones del fabricante sobre sus opciones de conexión.

De la misma manera fue necesario desarrollar e implementar el código fuente necesario para la integración del equipo robotizado del laboratorio con Arduino. Para ello se estudiaron los servicios disponibles y en base a ellos se diseñó un código fuente específico que permite controlarlos (Figura 5.26).

```

.../
//define these ports as output
pinMode(pinI2,OUTPUT);
pinMode(pinI3,OUTPUT);
pinMode(pinI4,OUTPUT);
pinMode(pinI5,OUTPUT);
/...
.../
delay(350);
digitalWrite(pinI9,LOW);
digitalWrite(pinI10,LOW);
} else if (mov == 10 && apinza>-4) {
//apinza=-1;
digitalWrite(pinI9,LOW);
// DC motor rotates anticlockwise
digitalWrite(pinI10,HIGH);
delay(350);
digitalWrite(pinI9,LOW);
digitalWrite(pinI10,LOW);
} else if (mov == 11) { digitalWrite(blueLed,HIGH);
//Turn on blue Led
} else if (mov == 12) { digitalWrite(blueLed,LOW);
//Turn off blue Led }}

```

Figura 5.26. Extracto del código implementado para Arduino, para controlar el brazo robotizado con SiLaRR.

El sistema de comunicación con el equipo robotizado está implementado desde el lado del servidor y permite la comunicación vía puerto serie, shield Wi-Fi y shield Ethernet.

La elección del brazo robotizado como primer módulo de SiLaRR fue una decisión meditada. Es habitual utilizar como referencia de control; y más en entornos educativos; un brazo robotizado, ya que es un equipo robotizado muy habitual a nivel industrial. Dadas las posibilidades de Internet es lógico acudir a su control de manera remota, [236], como muestra de las posibilidades de uso que un sistema así puede proporcionar, tanto a nivel remoto como en local, [237], con o sin interfaces específicas de control y con o sin posibilidades de programación remota, [238]. Pero la importancia de los equipos robotizados de este tipo ha llegado actualmente a la medicina y cirugía, [239], lo que los convierte en elementos básicos a la hora de realizar pruebas de control y como ejemplo del correcto funcionamiento de un sistema complejo.

- Laboratorio personalizado para equipos robotizados: recoge todas las posibles combinaciones de uso del Arduino y establece un criterio abierto del uso de los pines digitales y analógicos permitiendo al usuario personalizar su diseño. Inicialmente se genera un software básico orientado al uso de todas las opciones y posteriormente el usuario deberá trabajar directamente sobre los respectivos archivos generados y manipular la codificación, para adaptarla a sus necesidades.

Dado que en este caso se desconocen las características del equipo robotizado existente en el laboratorio al que irá dirigido, se ha procurado utilizar un código fuente lo más genérico posible, tanto en el lado del servidor (Figura 5.27) como desde el lado del hardware (Figura 5.28).

```
$resultado = mysql_query($sql, $enlace);
if (!$resultado) {
    echo 'Error de BD, no se pudo consultar la base de datos\n';
    echo 'Error MySQL: ' . mysql_error();
    exit;
}while ($fila = mysql_fetch_assoc($resultado)) {
    $enviar=$fila['EnviarDatos'];
    $recibir=$fila['RecibirDatos'];
    $portcom=$fila['Puerto_COM'];
    $bps=$fila['bps'];
    $ipWi-Fi=$fila['IP_Wi-Fi'];
    $ipethernet=$fila['IP_Ethernet'];
    $macethernet=$fila['MAC_Ethernet'];
    $ptoWi-Fi=$fila['puertoWi-Fi'];
    $ptoethernet=$fila['puertoethernet'];
    $ipwebcam1=$fila['ipWebCam1'];
    $ptoipwebcam1=$fila['ptoipwebcam1'];
    $ipwebcam2=$fila['ipWebCam2'];
    /...
```

Figura 5.27. Extracto del código implementado para controlar el módulo de laboratorio personalizado con SiLaRR.

```
 /...  
.../#define bps 9600  
int pin1=0;  
int pin2=0;  
int pin3=5;  
int pin4=6;  
 /...  
.../
```

Figura 5.28. Extracto del código implementado para Arduino, para controlar el módulo de laboratorio personalizado con SiLaRR.

Es en este caso donde cobra importancia el uso de la base de datos para dotar al sistema de la flexibilidad necesaria ya que en este módulo se deja al usuario introducir el código fuente que considere oportuno y asignar en LOW o HIGH el estado inicial de los pines a utilizar. Por todo ello esta opción solo está recomendada por aquellos usuarios que conozcan a fondo el funcionamiento del sistema, del hardware y de Arduino ya que deberán modificar o escribir el código fuente necesario para personalizar la integración del equipo robotizado al máximo.

Como en el caso anterior el sistema de comunicación con el equipo robotizado está implementado desde el lado del servidor y permite la comunicación vía puerto serie, shield Wi-Fi y shield Ethernet.

- **LED RGB:** constituye el primer paso claro hacia la generalización del sistema. Durante el desarrollo de esta tesis doctoral surgió la posibilidad de utilizar los avances del mismo en diferentes proyectos, en uno de ellos apareció la necesidad de implementar un laboratorio no robotizado y se decidió utilizar SiLaRR para ello.

El laboratorio “El color de la luz” consiste en un LED RGB que se controla directamente vía remota. Para ello se desarrolló un módulo para SiLaRR que cumplió las expectativas deseadas con éxito y que en junio de 2013 se convirtió en el primer laboratorio no de robótica de SiLaRR.

El esquema de hardware cuenta con Arduino y el software gestiona directamente los datos recibidos desde el servidor que permiten al cliente seleccionar remotamente la combinación de colores que van a iluminar el LED RGB tanto por envío directo de un único código compuesto, como con variaciones en tiempo real utilizando barras de desplazamiento para cada color (Figura 5.29).


```

<form name="frm" action="">
Rojo: <input type="text" id="rojo" name="rojo" value="0" maxlength="6"
onchange='$( "#red" ).slider( "value", $("#rojo").val())' />
Verde: <input type="text" id="verde" name="verde" value="0" maxlength="6"
onchange='$( "#green" ).slider( "value", $("#verde").val())' />
Azul: <input type="text" id="azul" name="azul" value="0" maxlength="6"
onchange='$( "#blue" ).slider( "value", $("#azul").val())' />
</form>
<button onclick="envia()">Enviar color RGB manualmente</button>
/...
.../
<style>
#red, #green, #blue {
float: left; clear: left; width: 300px; margin: 15px;
}
#swatch {
width: 120px; height: 100px; margin-top: 18px; margin-left: 350px; background-image: none; }
#red .ui-slider-range { background: #ef2929; }
/...
.../
</style>
<script>
function hexFromRGB(r, g, b) {
var hex = [ r.toString( 16 ),g.toString( 16 ), b.toString( 16 )];
$.each( hex, function( nr, val ) {
if ( val.length === 1 ) {
hex[ nr ] = "0"+ val;}
});return hex.join( "" ).toUpperCase();}
/...
.../
if($("#habilitar").is(":checked"))
{
$.ajax({type: "POST",
url: "index.php",
data:{color:hex,red:parseInt(hex.substring(0,2),16),
green:parseInt(hex.substring(2,4),16),
blue: parseInt(hex.substring(4,6),16)}});}
}
$(function() {
$( "#red, #green, #blue" ).slider({
orientation: "horizontal", range: "min",max: 255,value: 127,
slide: refreshSwatch, change: refreshSwatch });
$( "#red" ).slider( "value", 0 );
$( "#green" ).slider( "value", 0 );
$( "#blue" ).slider( "value", 0 );} )

function envia()
dato=pad(parseInt($("#rojo").val()).toString(16),2)+pad(parseInt($("#verde").val()).toString(16),2)+
pad(parseInt($("#azul").val()).toString(16),2);

$.ajax({ type: "POST", url: "index.php", data: { color: dato } });
$("#color").val(dato);}

function pad(n, length){
while(n.length < length) n = "0" + n;
return n;};
</script>

```

Figura 5.29. Extracto del código implementado para controlar el LED RGB con SiLaRR.

También en este caso se diseñó un esquema eléctrico básico, si bien, dadas las características del laboratorio, fue suficiente con una integración directa en Arduino y una placa de prototipos (Figura 5.30).

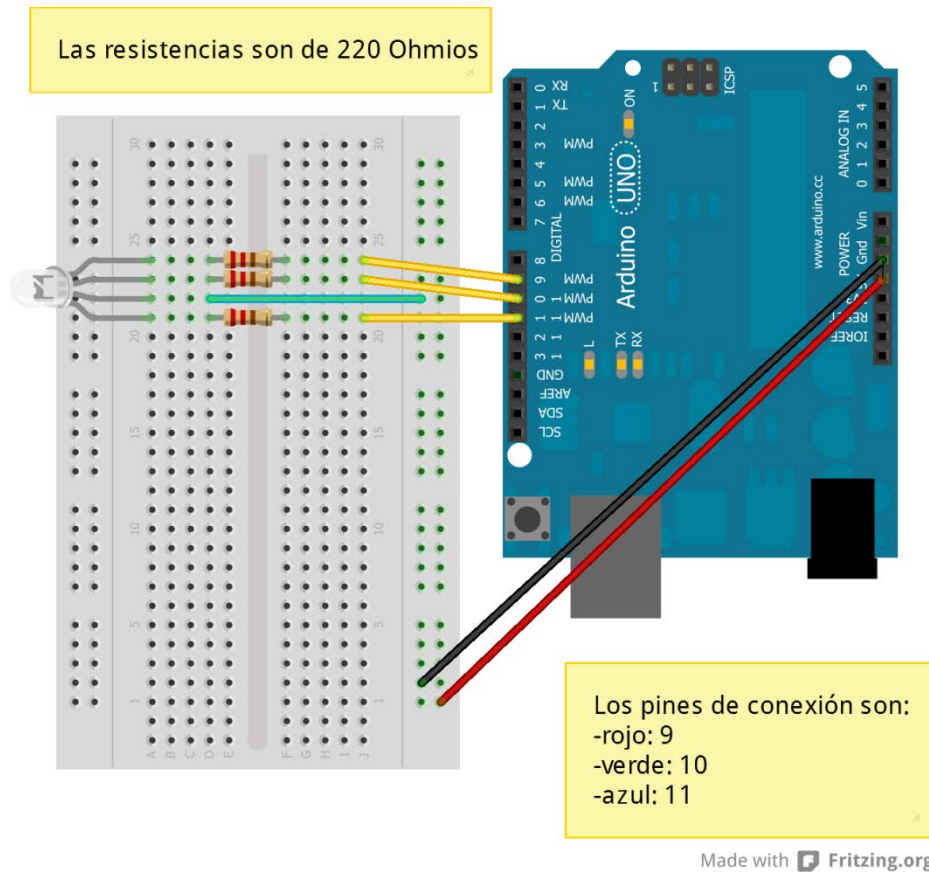


Figura 5.30. Esquema eléctrico en Arduino para la conexión con el LED RGB y gestión de sus servicios con SiLaRR.

Igualmente fue necesario desarrollar el código fuente específico para el módulo de hardware desarrollado para este laboratorio (Figura 5.31).

```

/...
goto iniReading;
endReading:
readingSerial = false;
message[count] = '\0';
setColor(message);}
void setColor(char* value) {
// Convert Char* to Long
color = atol(value);
// Extract RGB
r = color >> 16 & 0xFF;
g = color >> 8 & 0xFF;
b = color >> 0 & 0xFF;
// Send values to analog pins
analogWrite(PIN_RED, r);
analogWrite(PIN_GREEN, g);
analogWrite(PIN_BLUE, b); }
    
```

Figura 5.31. Extracto del código implementado para Arduino, para controlar el LED RGB con SiLaRR.

Como en los casos anteriores el sistema de comunicación con el equipo robotizado está implementado desde el lado del servidor y permite la comunicación vía puerto serie, shield Wi-Fi y shield Ethernet.

- Bípido: la integración del laboratorio de un robot bípedo se realizó como parte de un Trabajo de Fin de Máster en el que se decidió utilizar SiLaRR como plataforma de integración.

Como en los casos anteriores los equipos robotizados bípedos también son adecuados para las pruebas de control, sobre todo en lo referente a movimiento y equilibrio, [240].

En este caso el Arduino a utilizar fue un Arduino Mega debido a las necesidades de conexiones requeridas; que eran mayores por el mayor número de servos y actuadores a controlar; y a que se combinaba con una FPGA como hardware complementario del Arduino. Este módulo carga directamente el software de Arduino utilizado en el Arduino Mega, por lo que no permite la selección completa de opciones de los módulos anteriores. Asimismo el sistema de comunicación con el equipo robotizado está implementado desde el lado del servidor y permite la comunicación vía puerto serie, shield Wi-Fi y shield Ethernet.

Como en los módulos ya analizados, las pruebas también se realizaron satisfactoriamente con un par de módulos Bluetooth en configuración maestro-esclavo y configuración serie.

- Robot con ruedas: el laboratorio consta de un robot con cuatro ruedas. Era un laboratorio complementario al del robot bípedo y como tal se diseñó de la misma manera utilizando un Arduino Mega y una FPGA como complemento. En este caso, al igual que con el robot bípedo, el código de Arduino se carga directamente y tampoco permite la selección completa de opciones.

Asimismo el sistema de comunicación con el equipo robotizado está implementado a través del respectivo archivo desde del lado del servidor (Figura 5.32).

```

<tr align="center">
<td colspan = "3">
<button onclick="envia()" style="height: 50px; width: 75px">Adelante</button>
</td></tr><tr align="center">
<td>
<button onclick="envia4()" style="height: 50px; width: 75px">Izquierda</button>
/...
.../
<script>
function envia()
{
dato="0001";
$.ajax({
type: "POST",
url: "index.php",
data: { color: dato}
});
$('#color').val(dato);
}
/...

```

Figura 5.32. Extracto del código implementado para Arduino, para controlar el robot de ruedas con SiLaRR.

Dicha configuración permite las cuatro direcciones básicas de movimiento (“Adelante”, “Atrás”, Izquierda”, “Derecha”) y un movimiento preconfigurado (“Especial”). Si bien se presentan como servicios básicos es evidente que la integración de nuevos módulos con un criterio marcado por las diferentes posibilidades ofrecidas por los servicios disponibles en distintos tipos de robots móviles, [241], abre un camino de investigación interesante que permite que SiLaRR se vaya haciendo más completo.

Como en los módulos ya vistos también permite la comunicación vía puerto serie, shield Wi-Fi y shield Ethernet. Igual que en el caso anterior las pruebas también se realizaron satisfactoriamente con un par de módulos Bluetooth en configuración maestro-esclavo y configuración serie.

➤ Software de configuración:

El software de configuración principal aglutina y vertebrata todo el sistema. Este software consta de cerca de 7.000 líneas de código que se adjuntan como información complementaria en el Anexo 2. En este apartado se analizan algunas de las funciones más importantes del mismo.

Como ocurría con el instalador la primera opción que debe decidir el usuario es el idioma de instalación, español o inglés (Figura 5.33).

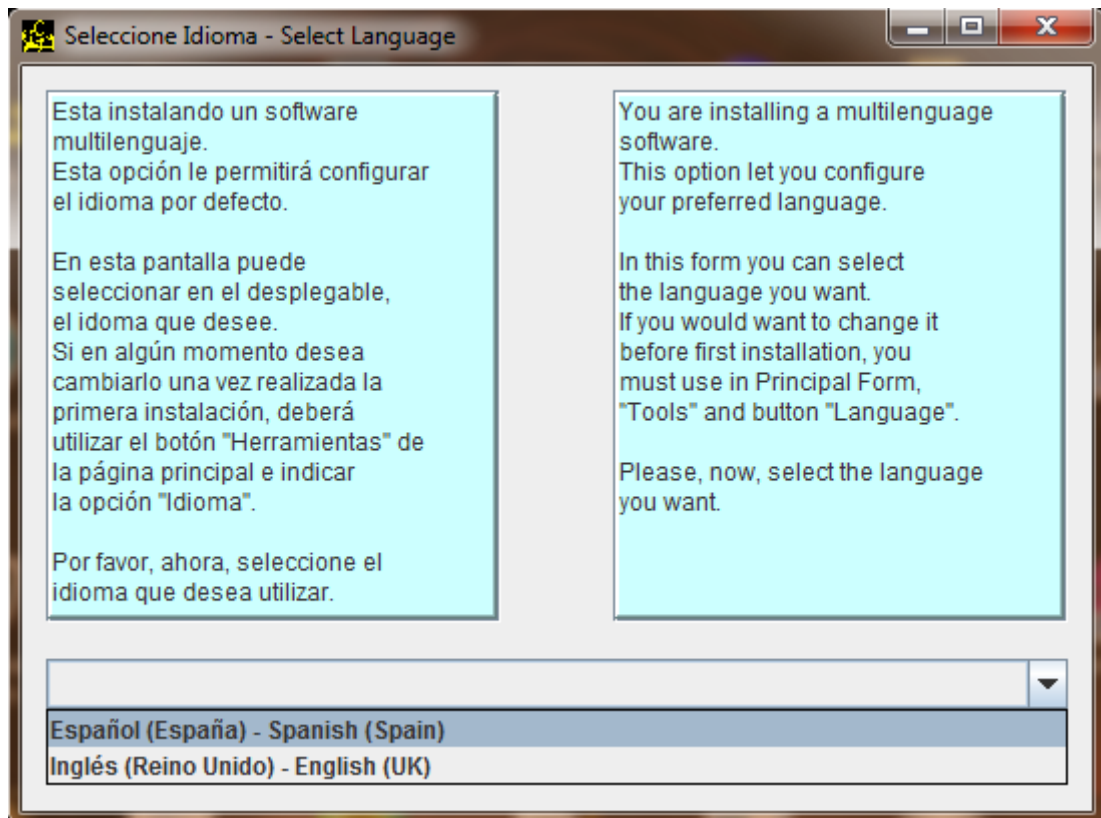


Figura 5.33. Configuración de idioma de SiLaRR.

Una vez decidido el idioma, el usuario deberá leer y aceptar las condiciones de uso de la licencia GPLv3, y ya podrá empezar a utilizar el software. La interfaz se ha diseñado de una manera sencilla y visual. En la pantalla de inicio (Figura 5.34) se muestran todas las opciones disponibles. Dado que desde el primer momento la idea es facilitar el proceso de configuración al usuario, en las pantallas que responden a algún proceso importante se han incluido comentarios al respecto para que el usuario esté debidamente informado. Todos los botones disponibles intentan ser autoexplicativos:

- “Verificar”: comprueba que previamente hayan sido instaladas las herramientas necesarias para que SiLaRR funcione correctamente, en este caso Apache, PHP y MySQL. Si dicha verificación es positiva o negativa se mostrará el icono respectivo indicándolo (Figura 5.35).
- “Iniciar configuración”: ya sea en la variante de laboratorios de robótica o de otros laboratorios, inicia el proceso de configuración del nuevo laboratorio a instalar.
- “Ayuda”: muestra las instrucciones básicas que el usuario necesita para empezar a trabajar con SiLaRR.
- “Herramientas”: abre la pantalla de herramientas que permitirán al usuario modificar el idioma de SiLaRR, enviar una consulta directamente al desarrollador, o bien ir directamente a la página web del desarrollador.

En la parte superior de la pantalla las opciones disponibles son:

- “Configuración”: que despliega un menú con las opciones “Editar configuración”, para editar un laboratorio ya creado previamente y existente en la base datos de SiLaRR, y “Nuevo” que también da paso a un desplegable que nos lleva a las acciones ya vistas con los botones citados.
- “Ayuda”: que despliega un menú con las opciones también citadas previamente de “Ayuda” y de aceptación de licencia de uso GPLv3.

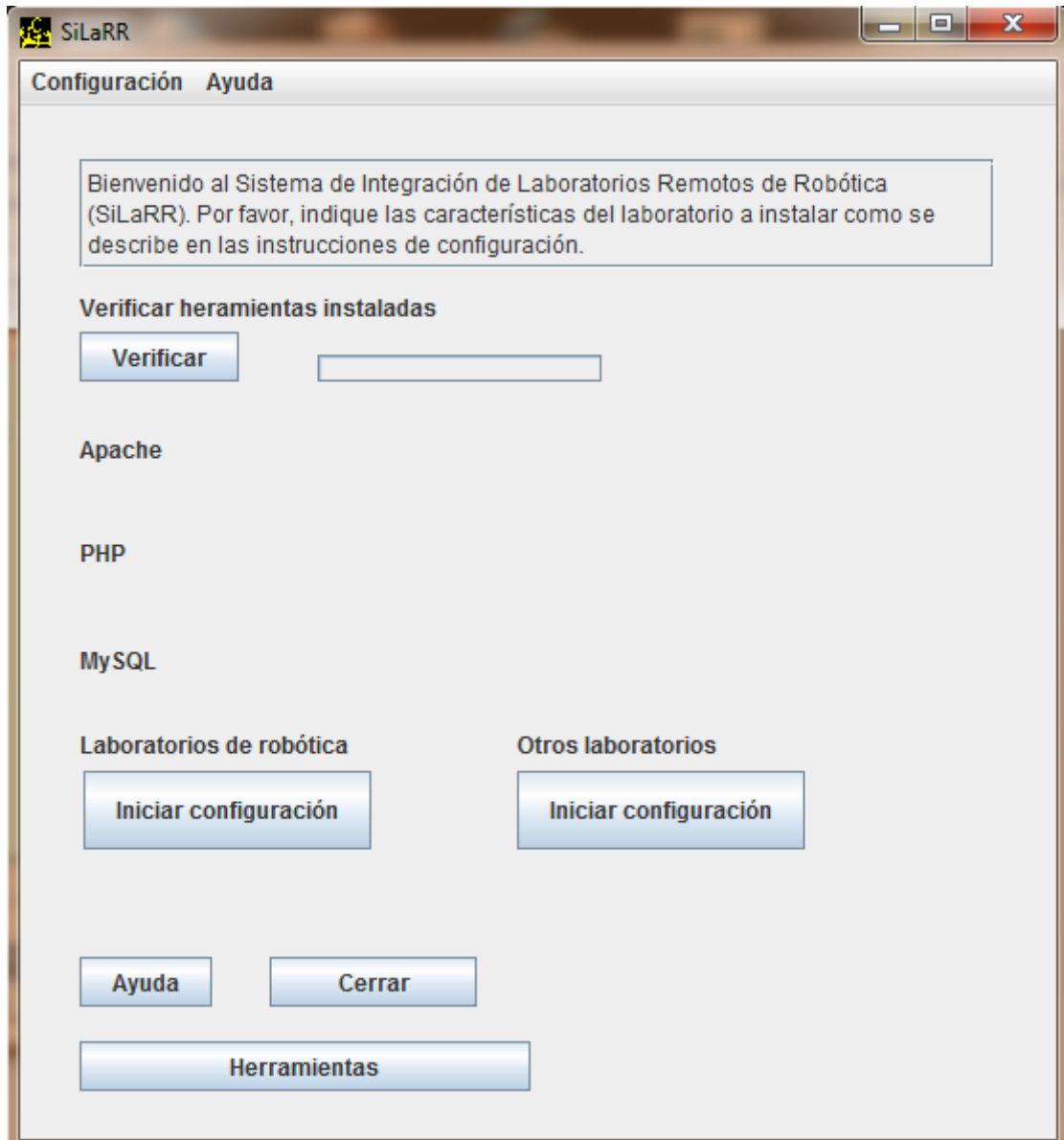


Figura 5.34. Pantalla de inicio de SiLaRR.

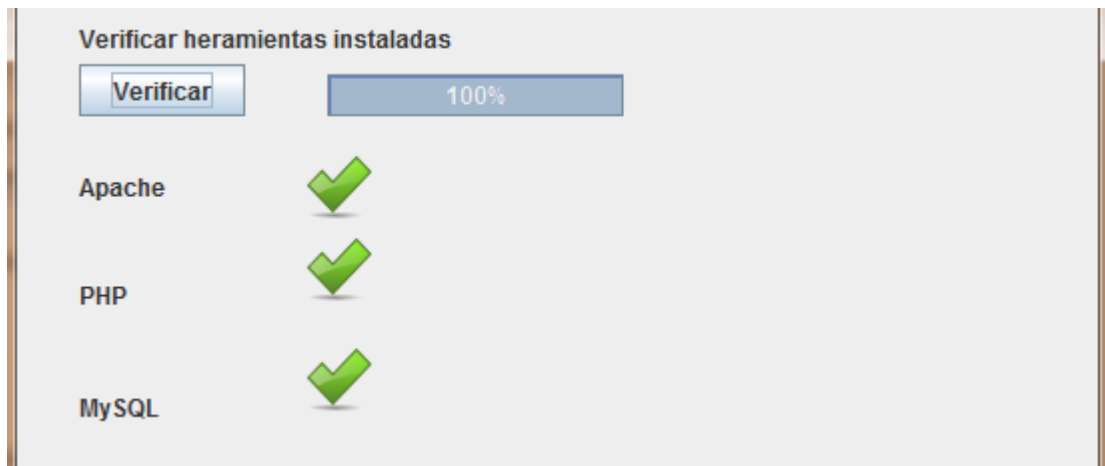


Figura 5.35. Verificación positiva de herramientas necesarias.

El siguiente paso es iniciar la configuración de un laboratorio. En cualquiera de las dos opciones se mostrará la pantalla de configuración del protocolo de comunicaciones (Figura 5.36). En ella deberá seleccionarse el protocolo deseado (serie, Wi-Fi, Ethernet). De nuevo se indica en cada opción las consecuencias, necesidad de ajustes posteriores, o notas de interés, para que el usuario las tenga en cuenta y las conozca de antemano.

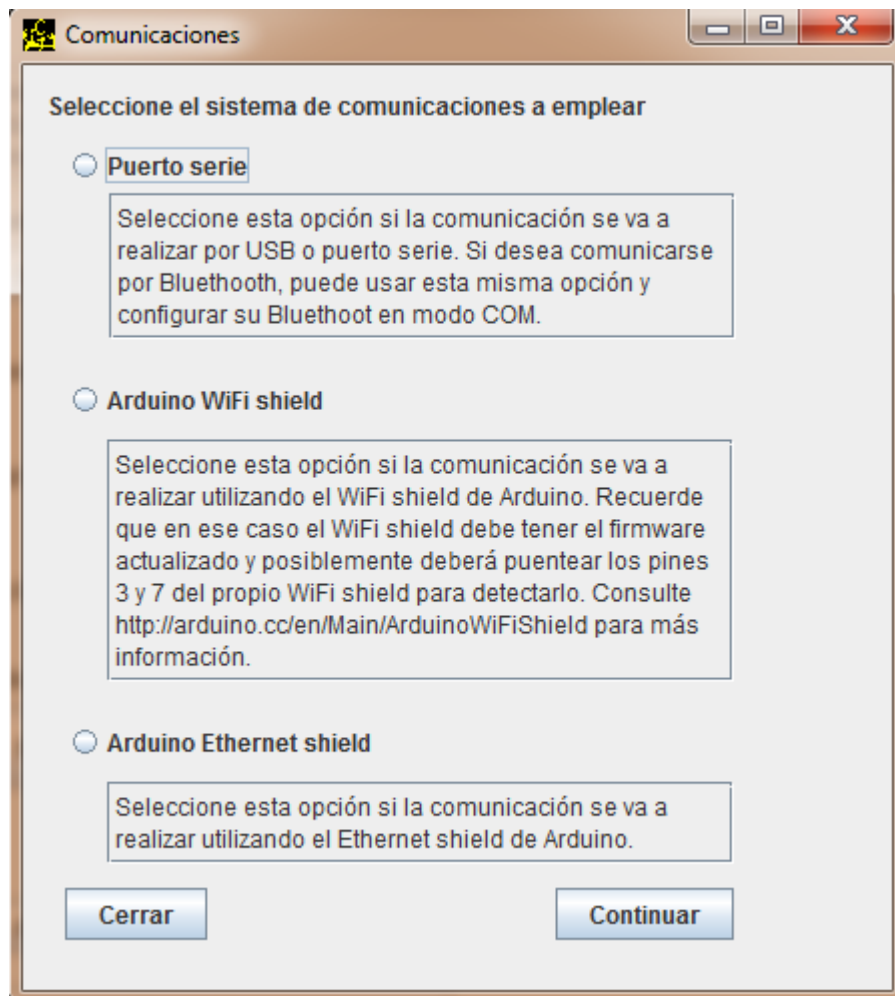


Figura 5.36. Pantalla de selección de protocolo de comunicaciones.

Decidido el protocolo y pulsando en “Continuar” se accede a la pantalla de selección de módulos de laboratorios. En este caso, en función de la opción tomada inicialmente se mostrarán diferentes módulos existentes, los de laboratorios de robótica (Figura 5.37) y los de otros tipos de laboratorios (Figura 5.38).



Figura 5.37. Pantalla de selección de laboratorios de robótica.

En ambos casos el sistema de selección es simple, basta con pulsar sobre el módulo deseado. Actualmente existen cinco laboratorios disponibles en total. El carácter modular de SiLaRR permitirá ir añadiendo y perfeccionando nuevos laboratorios, enriqueciendo el sistema.

En todas las pantallas aparece un botón “Volver” que permite al usuario volver atrás en caso de que quiera realizar algún cambio, decida comprobar alguna opción, o quiera modificar el tipo de laboratorio a instalar.

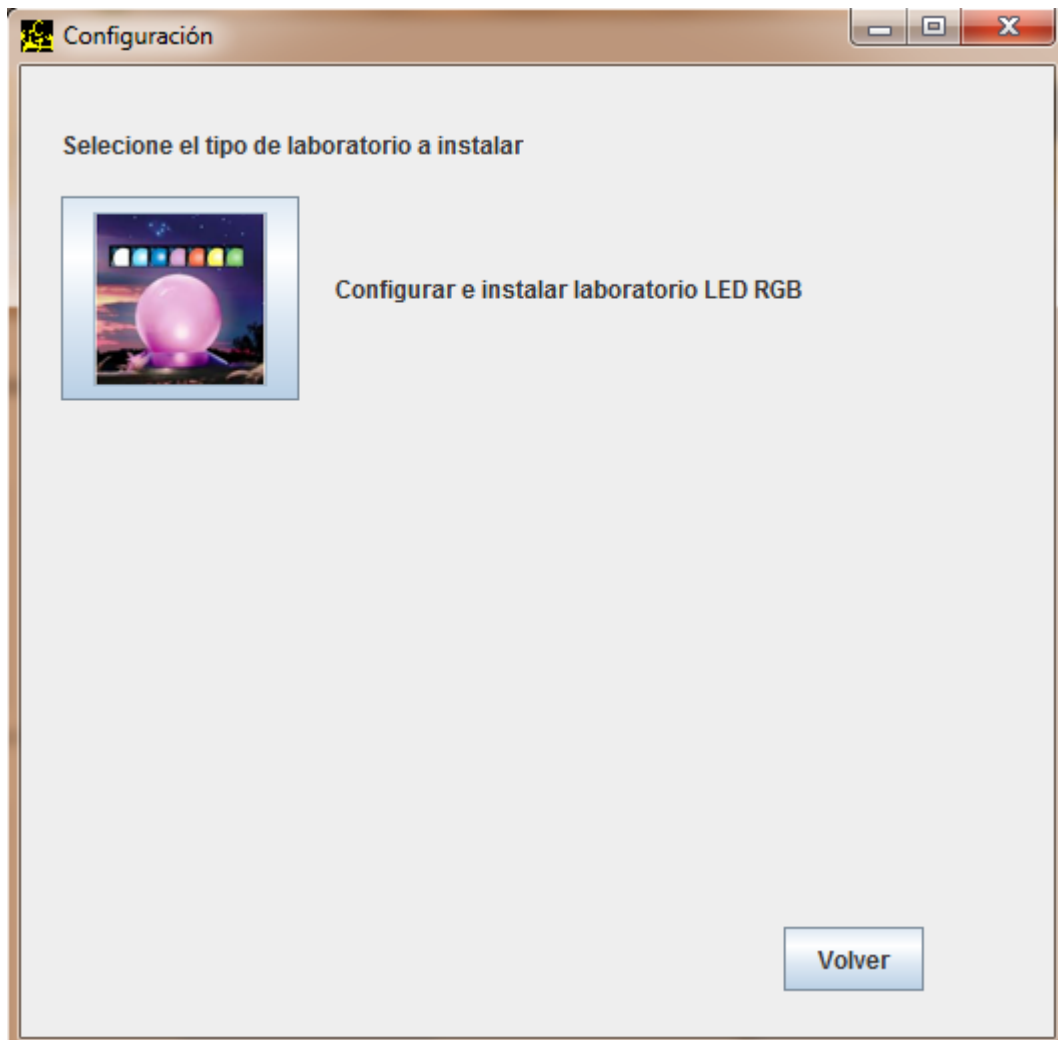


Figura 5.38. Pantalla de selección de otros laboratorios.

Una vez pulsado el laboratorio deseado se accede a la pantalla de configuración del hardware. Esta pantalla tiene siempre como base las características de la placa Arduino UNO R3.

Permite seleccionar todos los pines disponibles, excepto aquellos que, por motivos de seguridad se ofrecen como no disponibles y que son: 0-RXD, 1-TXD, AREF, GND, 13, IOREF, RESET. La razón de que esto sea así es porque estos pines están relacionados directamente, de una u otra forma, con el correcto funcionamiento interno de la placa Arduino UNO R3 y su manipulación incorrecta puede provocar el mal funcionamiento del mismo. No obstante, una vez configurado el laboratorio, los usuarios avanzados podrán utilizarlos y configurarlos; eso sí, manualmente; si lo consideran necesario.

Esta pantalla varía en función del protocolo de comunicaciones decidido anteriormente, por ello existen tres opciones:

- **Serie:** muestra la imagen habitual del Arduino UNO R3 (Figura 5.39). Permite indicar el puerto que se desea utilizar, así como la velocidad en baudios por segundo (bps).

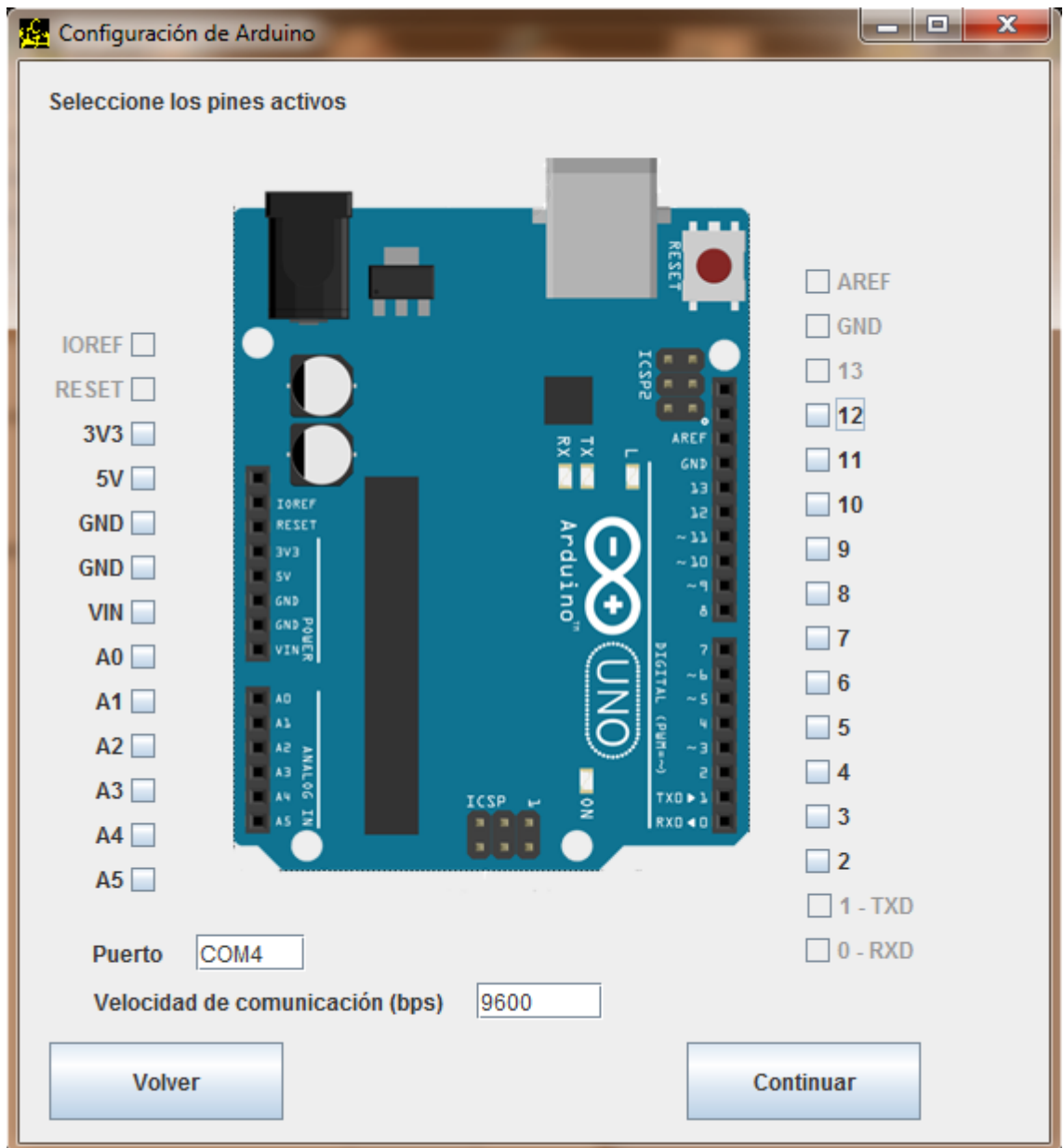


Figura 5.39. Pantalla de configuración para puerto serie.

- Wi-Fi: muestra la imagen del shield Wi-Fi (Figura 5.40). En este caso el usuario tendrá que indicar el puerto, la dirección IP que la red Wi-Fi le haya asignado al shield, y por supuesto, el nombre y la contraseña de la red Wi-Fi a la que estará conectado.

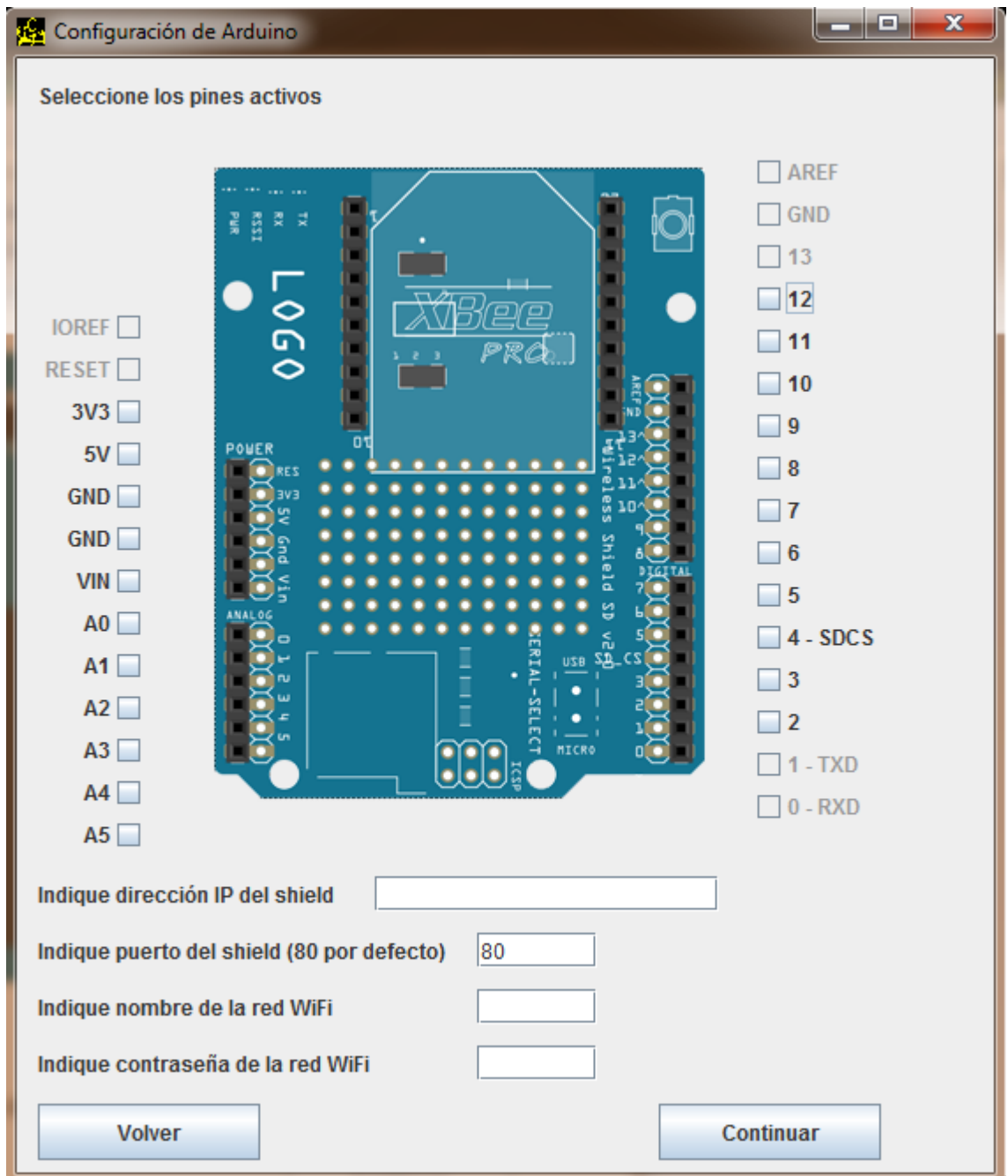


Figura 5.40. Pantalla de configuración para shield Wi-Fi.

- Ethernet: muestra la imagen del shield Ethernet (Figura 5.41). También en este caso el usuario deberá indicar los datos referentes al puerto, dirección IP del shield y la dirección MAC del mismo.

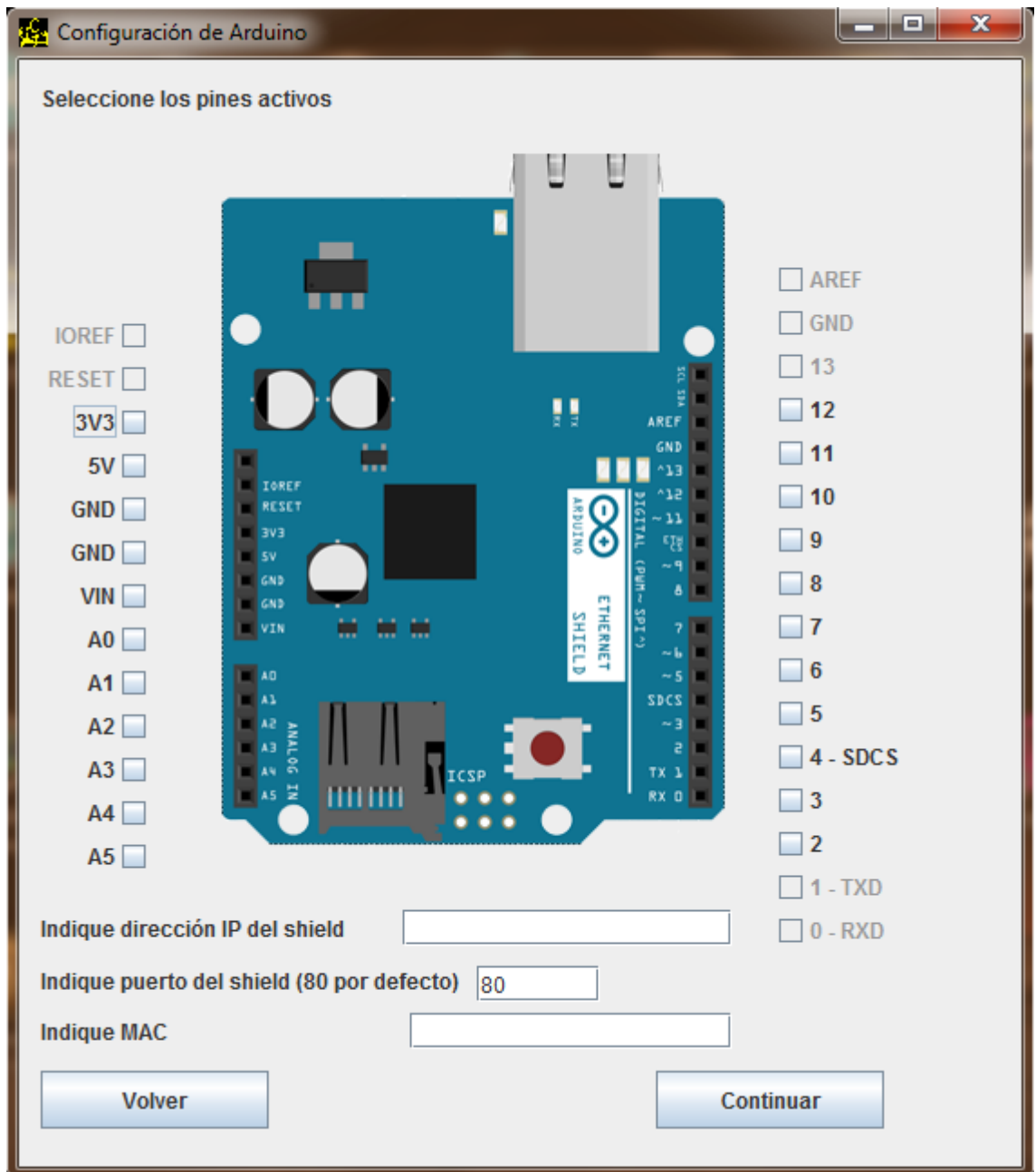


Figura 5.41. Pantalla de configuración para shield Ethernet.

En los tres casos aparecen por defecto determinados valores de los campos para ayudar al usuario a saber que datos debe introducir en cada uno de ellos. De la misma forma SiLaRR cuenta con un sistema de gestión de errores y avisos que no dejan al usuario continuar si no ha introducido correctamente los datos necesarios en una determinada pantalla, en cuyo caso le muestra un aviso o error indicando el formato en el que debe introducir dichos datos o advirtiéndole sobre lo que va a hacer.

Una vez decididos los pines a utilizar, el usuario puede continuar y pasar a la pantalla siguiente. La pantalla de configuración de servidor y cámaras (Figura 5.42) condensa varias opciones clave para garantizar el correcto funcionamiento del laboratorio en SiLaRR:

- “Configurar cámaras”: despliega la pantalla del módulo de configuración de cámaras. Actualmente hay tres opciones disponibles: WebCam IP y Yawcam que solicitan del usuario que indique las direcciones IP de las cámaras a usar, y VLC, esta última recoge los datos necesarios para la creación y compilación del archivo *.asx necesario para su funcionamiento posterior.
- “Seleccionar”: que requiere que el usuario indique cuáles de las cámaras configuradas desea utilizar en la página web del laboratorio que se va a compilar. Se recomienda una sola de ellas sobre todo si los clientes, o usuarios alumnos, finales van acceder al laboratorio mediante algún dispositivo móvil, pero SiLaRR admite el uso de las tres opciones conjuntamente.
- “Nombre de la base de datos”: en este campo el usuario administrador deberá indicar el nombre que le desea dar a la base de datos de laboratorios que desea crear o desplegar en Internet (ej.: UNEDLabs). Actualmente SiLaRR permite la utilización de diferentes bases de datos, si bien el usuario administrador debe tener en cuenta que este uso no se permite de manera múltiple, es decir en el servidor solo será posible utilizar la última base de datos que el administrador haya indicado en este campo. Si desea utilizar otra distinta el administrador deberá indicar el nombre de la misma utilizando SiLaRR de nuevo.
- “Nombre del administrador”: en este campo se debe incluir el nombre del administrador utilizado durante la instalación de SiLaRR.
- “Contraseña del administrador”: en este campo se debe incluir la contraseña utilizada durante el proceso de instalación de SiLaRR.
- “Nombre del laboratorio”: en este campo se debe incluir el nombre que se desea dar al laboratorio que se quiere crear (ej.: LabBrazo). En este caso el usuario debe tener en cuenta que el sistema no admite nombres repetidos, y debe recordar que si se desea crear un grupo de laboratorios en anillo el formato a utilizar deberá incluir el carácter “_” seguido de un número (ej.: LabBrazo_1), indicando de manera consecutiva todos los laboratorios del anillo que se creen posteriormente (ej.: LedBrazo_2, LedBrazo_3, etcétera).
- “Enviar datos al puerto del Arduino”: esta opción está marcada por defecto porque es la habitual. No obstante si lo desea también puede marcar “Recibir datos desde el puerto del Arduino”. Actualmente la opción de recibir datos solo está habilitada para utilizar con puerto serie.
- “Crear base de datos, ficheros y carpetas”: esta opción permite crear la base de datos al completo en el lado del servidor de SiLaRR, así como crear el laboratorio pertinente. El usuario debe tener en cuenta que la base de datos se crea la primera vez que se crea un laboratorio, posteriormente se irá actualizando con los nuevos laboratorios creados. Eso permite que un único usuario pueda crear diferentes bases de datos

con sus respectivos laboratorios asociados, si bien debe tener en cuenta que un anillo de laboratorios requiere que todos ellos se encuentren en la misma base de datos.

| | Introduzca IP | Puerto | Seleccionar |
|---------------|----------------------|----------------------|--------------------------|
| Cámara web IP | <input type="text"/> | <input type="text"/> | <input type="checkbox"/> |
| Cámara Yawcam | <input type="text"/> | <input type="text"/> | <input type="checkbox"/> |
| Cámara VLC | <input type="text"/> | <input type="text"/> | <input type="checkbox"/> |

Nombre de la base de datos

Nombre del administrador

Contraseña del administrador

Nombre del laboratorio

Gestión de envío y recepción de datos

Enviar datos al puerto del Arduino

Recibir datos desde el puerto del Arduino

Volver Crear base de datos, ficheros y carpetas Continuar

Figura 5.42. Pantalla de configuración de servidor y cámaras.

Aunque se ha indicado ya anteriormente, es necesario que durante este proceso se encuentre activo el lado del servidor con WampServer ejecutado (si bien no es necesario que esté desplegado en Internet), de no ser así se producirán y mostrarán los respectivos errores que impedirán que el software funcione correctamente. En caso de que no haya ningún problema se le mostrarán al usuario los respectivos avisos de que todo ha ido bien.

Una vez creada la base de datos y el laboratorio, se activará el botón “Continuar” que permitirá al usuario pasar a la pantalla de “Lanzar archivos” (Figura 5.43). Esta pantalla permitirá generar y compilar los archivos básicos para el laboratorio, por una parte aquellos archivos necesarios para el despliegue del laboratorio creado en una página web dentro del servidor, y por otra el código necesario para cargar en el Arduino y controlar así el hardware del laboratorio.

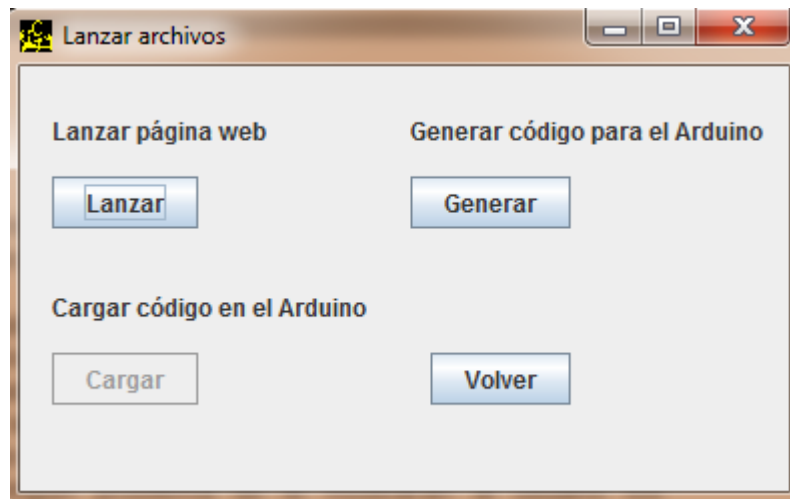


Figura 5.43. Pantalla de compilación de archivos.

Los datos para todos esos archivos se extraerán de la base de datos que los tendrá almacenados gracias a las operaciones previas que el usuario ha ido haciendo mientras respondía a las opciones ofrecidas por el software.

Como en pantallas anteriores, en esta también debemos analizar diferentes botones:

- “Lanzar”: carga la página del laboratorio ya creada por SiLaRR (Figura 5.44), utilizando para ello el navegador por defecto del sistema operativo.

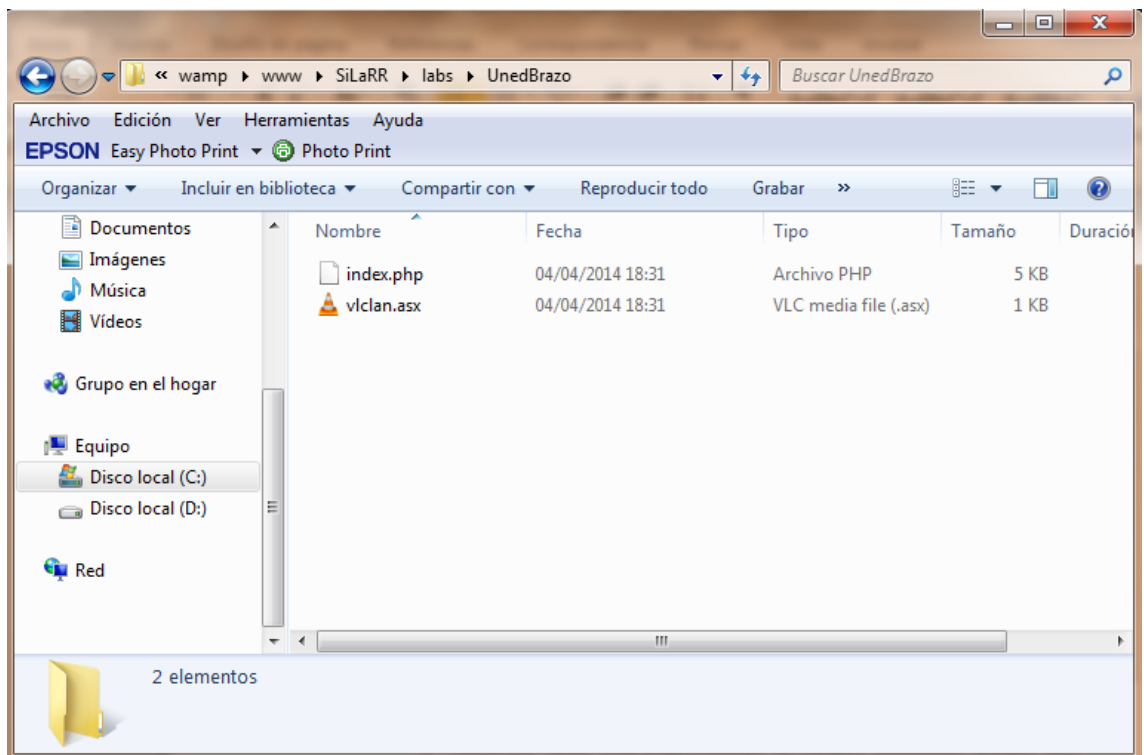


Figura 5.44. Archivos generados para desplegar en Internet el laboratorio creado dentro de la carpeta del propio laboratorio “UnedBrazo”.

- “Generar”: genera el código fuente para cargar en el Arduino. Asimismo lo almacena en una carpeta dentro del laboratorio, en el servidor, para

que esté accesible si fuera necesario (Figura 5.45). Si el código se genera correctamente se habilitará el botón “Cargar”.

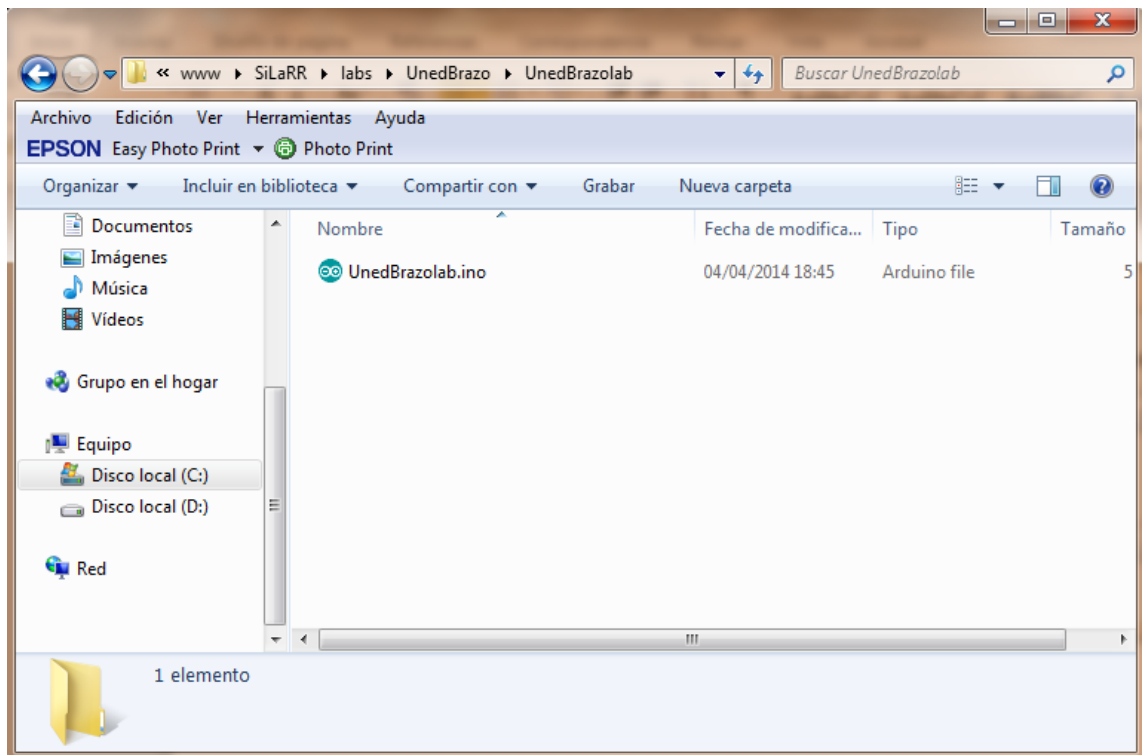


Figura 5.45. Generación de archivo *.ino dentro de la carpeta “UnedBrazolab” dentro de la carpeta del propio laboratorio “UnedBrazo”.

- “Cargar”: abre automáticamente el código generado dentro del IDE de Arduino, permitiendo así que; si el Arduino está conectado al PC; pueda ser cargado directamente en él, utilizando dicho IDE de la manera habitual (Figura 5.46).

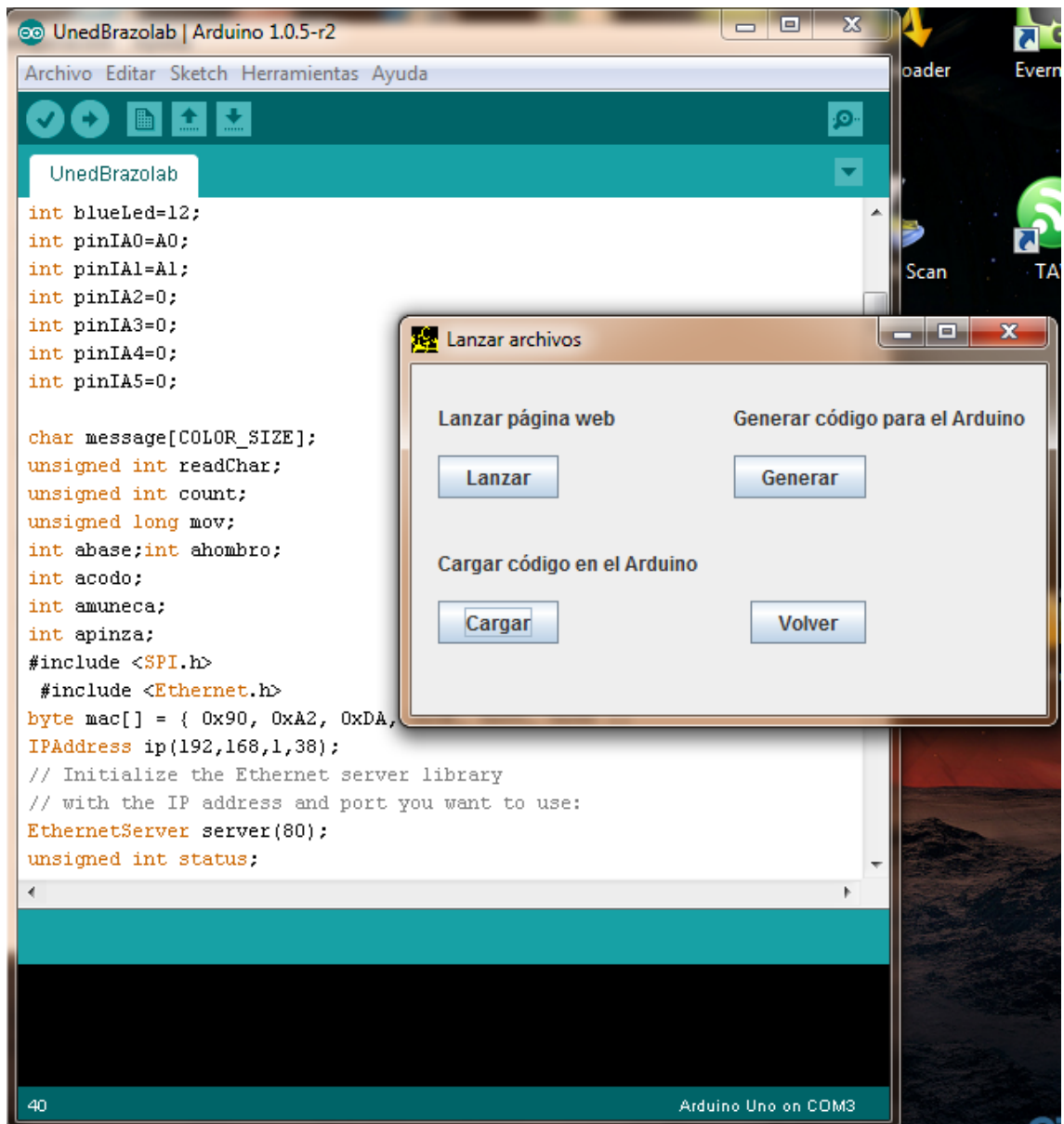


Figura 5.46. Carga del archivo *.ino en el IDE de Arduino. Se aprecian los valores de pines seleccionados así como los datos de MAC, IP y puerto.

Llegados a este punto el laboratorio ya estaría integrado y listo para empezar a funcionar. No obstante SiLaRR está diseñado para permitir una correcta actualización del sistema en caso necesario. Teniendo en cuenta que la filosofía de SiLaRR es facilitar el trabajo de integración y configuración de laboratorios remotos, este software cuenta con una utilidad que aumenta su funcionalidad: la modificación de datos de un laboratorio.

Previamente se ha enunciado la opción de “Editar configuración” de la pantalla de inicio. Se accede a ella a través de la opción “Configuración” y lleva al usuario a la pantalla de edición (Figura 5.47), desde donde se puede trabajar directamente sobre la base de datos. Se analizan las opciones disponibles:

- “Nombre del administrador”: una vez más se habrá de indicar aquí el nombre de usuario utilizado en el proceso de instalación.

- “Contraseña del administrador”: de nuevo también aquí deberá utilizarse la contraseña empleada en el proceso de instalación.
- “Nombre de la base de datos”: en este cuadro de texto deberá indicarse el nombre de la base de datos a la que queremos acceder.
- “Conectar con la base de datos”: este botón, utilizando los datos previamente indicados, realizará la conexión con la base de datos solicitada.
- “Generar”: permite generar un nuevo fichero *.*ino para Arduino, utilizando los nuevos datos modificados en el laboratorio indicado en el cuadro de texto.
- “Cargar”: permite cargar automáticamente en el IDE de Arduino, el nuevo fichero modificado y generado previamente.
- “Borrar”: permite borrar una fila completa en cualquiera de las tres tablas mostradas. Se recomienda al usuario que sea cuidadoso con esta operación porque existen otras tablas a las que únicamente se tiene acceso desde el lado del servidor a través de la interfaz web y que están vinculadas a estas tres principales. Con lo que cualquier entrada borrada aquí podría provocar un funcionamiento incorrecto en todo el sistema, si no se modifican también el resto de las tablas.
- “Actualizar”: actualiza los datos de las tablas mostrados por pantalla.
- “Guardar cambios”: guarda los cambios realizados en cualquiera de las tablas. Para cambiar un campo, el usuario debe situarse sobre él, realizar la modificación pertinente, pulsar la tecla “Enter” del teclado para aceptar la edición de dicho campo y pulsar este botón. El dato se modificará y se mostrará actualizado. No está permitido seleccionar más de una fila a la vez para realizar cambios, pero; si bien no es recomendable; si pueden realizar cambios en varios campos de la misma fila (excepto el identificador clave de la primera columna) y una vez modificados proceder al guardado de todos. Tampoco se permiten modificar las primeras columnas de cada tabla, ya que contienen el identificador clave que relaciona cada una de las tablas del sistema.

Editar configuración

Indique usuario, contraseña y nombre de la base de datos.

Nombre del administrador: Contraseña del administrador: Nombre de la base de datos:

| id_lab | Nombre | Comm | Tipo | EnviarDatos | RecibirDatos | Pin0RX | Pin1T: |
|--------|----------------|----------|-------|-------------|--------------|--------|--------|
| 12 | Pruebatotal... | Serie | Brazo | 1 | 0 | 0 | 0 |
| 13 | Pruebatotal... | Serie | Brazo | 1 | 0 | 0 | 0 |
| 14 | Lab8667 | Serie | Brazo | 1 | 0 | 0 | 0 |
| 15 | UnedBrazo | Ethernet | Brazo | 1 | 0 | 0 | 0 |

Generar nuevo código para Arduino para el laboratorio:

Cargar nuevo código en el Arduino

| id_man | Activo | id_lab | Nombre |
|--------|--------|--------|---------|
| 1 | 1 | 1 | Brazo1 |
| 2 | 1 | 2 | preuba1 |
| 3 | 1 | 3 | Brazo1 |

| id_us... | Rol | Nombre | Apellid... | Apellid... | NIF | Corre... | Teléfono... | Nexpdte | Labor... | Usuario | Contra... |
|----------|-------|--------|------------|------------|-----|-----------|-------------|---------|----------|---------|-----------|
| 1 | admin | Pedro | Admin | Root | | pedro... | 000111 | 000001 | 1,2 | Pedro | 123456 |
| 2 | tutor | Luis | Tutor | Ruiz | | luis@t... | 123456 | 100015 | | Luis | luis |
| 3 | est | Ana | Alumno | Alum... | | ana@... | 55555 | 200001 | | Ana | ana |

Figura 5.47. Pantalla de edición de configuración. Accede directamente a la base de datos alojada en el lado del servidor de SiLaRR.

Las tablas que se muestran en esta pantalla son las tablas principales del sistema: “labs”, “managelabs” y “users”, pero como ya se ha indicado hay otras tablas vinculadas a estas. Si bien se ha intentado trabajar con identificadores en lo que a las respectivas vinculaciones se refiere, es recomendable hacer una copia de seguridad de los datos a modificar para volver a escribirlos en sus respectivos campos si se aprecia algún funcionamiento incorrecto del sistema con posterioridad. Asimismo se recomienda hacer copias periódicas de la base de datos junto con las carpetas y archivos de los laboratorios alojados en el directorio “C:\wamp\www\SiLaRR\labs”.

La potencia de esta sección de SiLaRR, al igual que su homóloga en la interfaz web, debe ser analizada cuidadosamente. Si en esta pantalla se modifica en un laboratorio el tipo de protocolo de comunicación seleccionando uno de entre aquellos existentes; actualmente: “Serie”, “Wi-Fi” y “Ethernet”; y se procede a generar el nuevo código fuente para Arduino, se sobrescribirá el código fuente original.

De la misma forma se pueden poner a “0” o a “1” los pines deseados, modificar las direcciones IP y puertos de las cámaras asignadas, de la Wi-Fi o

Ethernet existentes, o los baudios por segundo del puerto serie, o el nombre de la Wi-Fi y su contraseña. Todos los cambios realizados se actualizarán en el laboratorio, pero dado que esa actualización es manual, se deberá realizar la pertinente adecuación del entorno (ej.: si inicialmente no se había seleccionado cámara, y ahora se indica una IP de la misma habrá que contar con una webcam IP externa o proceder a configurar usando Yawcam o VLC la cámara pertinente, y en caso de este último el archivo *.asx vinculado, e incluir manualmente el código necesario).

El usuario debe tener en cuenta que los campos “EnviarDatos” y “RecibirDatos” no se modifican en el código del servidor. Para ello se recomienda generar un nuevo archivo de laboratorio asignando o desasignando esa opción. La razón de ello es que la manipulación del envío y recepción de datos sin conocimientos adecuados sobre el funcionamiento del sistema y sus protocolos de comunicación, e interacción, podría perjudicar al funcionamiento del sistema, con lo que para garantizar que el laboratorio se genera e integra adecuadamente es necesario realizar estos cambios creando un nuevo laboratorio. De esa manera, si fuera necesario, siempre se podría acceder al laboratorio antiguo con la configuración funcional.

El usuario debe tener en cuenta que varias de las tablas utilizadas en SiLaRR están vinculadas. En el caso de las tres mostradas aquí existe un criterio de actualización automática en lo referente al nombre del laboratorio. Si este es modificado en la tabla “labs”, se cambiará automáticamente también en la tabla “managelabs” y viceversa.

De la misma forma si se modifica el estatus de usuario en la tabla inferior; actualmente: “admin”, “tutor” y “est”; se modificarán los permisos de los usuarios en ese sentido. Pero no todas las tablas vinculadas se actualizan con todos los cambios realizados. De hecho hay campos que no deben ser modificados sin tener en cuenta sus efectos. Un caso claro es el número de identificador clave del laboratorio. Este número no puede modificarse por seguridad. Como ya se ha indicado los identificadores se han utilizado como elementos relacionales con lo que modificar uno de ellos implicaría modificar las asignaciones, permisos para usarlo, informes, reservas, etc., lo que provocaría el mal funcionamiento del sistema. Por eso es recomendable seguir cuidadosamente las instrucciones ya indicadas en este apartado.

Esta pantalla, igual que alguna de las otras pantallas previamente analizadas, gestiona los datos directamente desde el servidor, de ahí lo importante que resulta que WampServer se encuentre activo en todo momento para evitar errores de acceso y comunicación con el sistema.

Los pasos anteriores permiten integrar, crear y desplegar en Internet un laboratorio utilizando SiLaRR como sistema de integración, y mantienen inalterable la opción de realizar cambios en el software del mismo (tanto en el hardware como en la web) de una manera intuitiva y visual. Es necesario hacerlo así porque un laboratorio remoto, por lo general, sufre modificaciones en sus características y servicios a lo largo de su vida útil.

Los respectivos procesos de instalación, configuración y despliegue ya vistos, que desembocan en la puesta a disposición final de del sistema aparecen reflejados en la Figura 5.48.

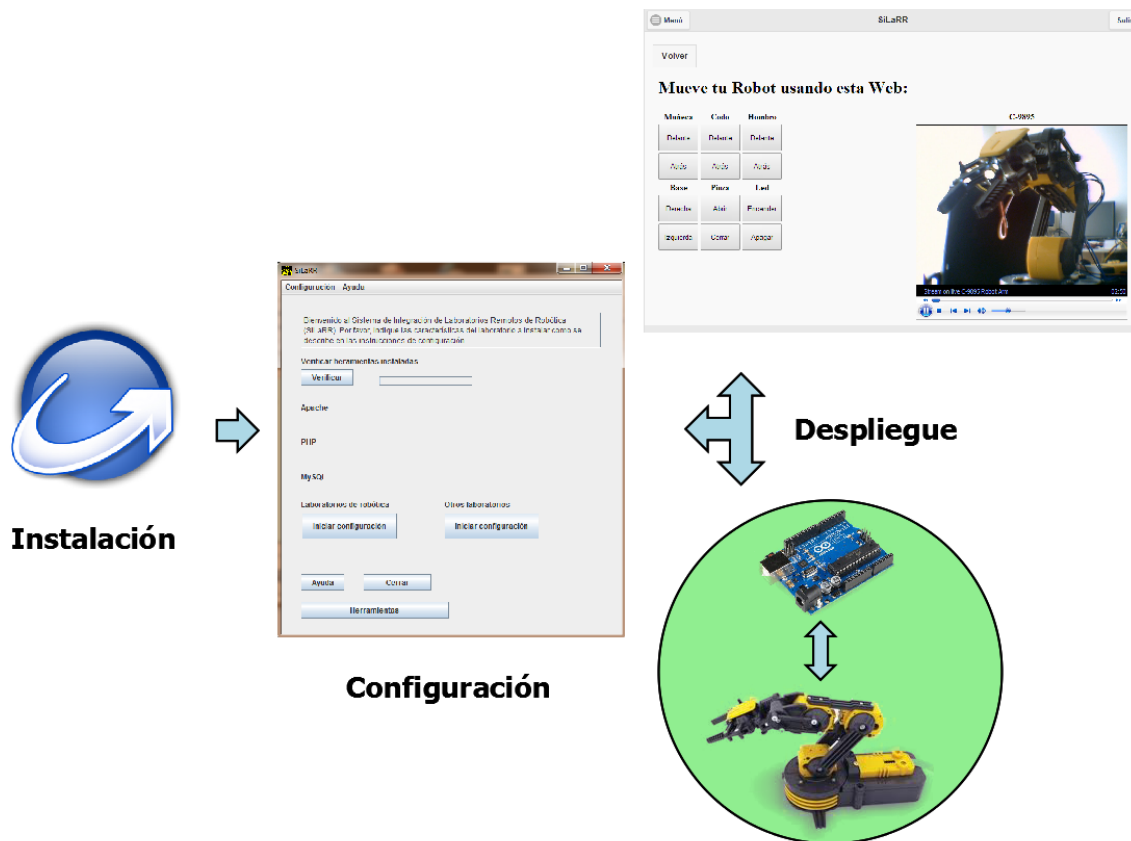


Figura 5.48. Instalación, configuración y despliegue del sistema.

Una vez terminados todos los pasos, el laboratorio remoto de robótica estará listo para usarse. El código fuente existente en el Arduino permitirá trasladar al equipo robotizado las órdenes pertinentes desde las funciones implementadas en la página web con la que interacciona el usuario final. Estos datos procedentes de la web se envían vía puerto serie, Ethernet o Wi-Fi, al Arduino que una vez los recibe los procesa y activa, o desactiva, los pines respectivos de la placa para indicar al robot que es lo que debe hacer. De esta manera y gracias a SiLaRR el usuario controla remotamente el comportamiento del equipo robotizado en tiempo real.

Pero para que SiLaRR cumpla el objetivo para el que ha sido diseñado, es decir, facilitar el uso de esos laboratorios integrados en un entorno formativo o educativo, es necesaria también una adecuada gestión de los usuarios y esos laboratorios.

5.4. Gestión de datos de usuarios y laboratorios

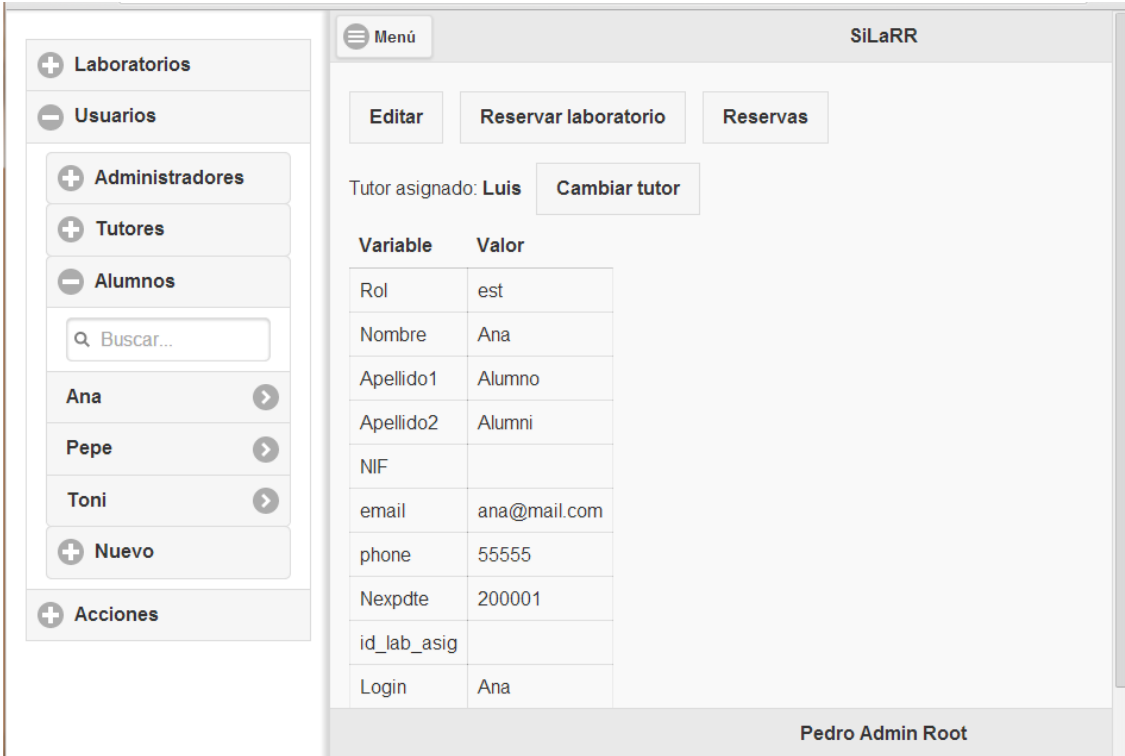
Si bien en el apartado anterior se ha mostrado como se pueden editar datos de usuarios y de laboratorios utilizando el propio software de configuración, es recomendable que dichos cambios se realicen utilizando la interfaz web diseñada para ello.

En SiLaRR se deben coordinar de manera conjunta tres actores diferentes: usuarios, laboratorios y servicios. Es necesario gestionar de manera coherente los tres para mantener la eficiencia de uso necesaria para rentabilizar los laboratorios y satisfacer a los usuarios.

El entorno web permite, según el tipo de usuario, emplear distintos servicios que se muestran a continuación:

➤ Servicios de administración:

- ✓ Los administradores pueden crear nuevos usuarios de cualquier tipo, ya sean otros administradores, tutores o alumnos, simplemente pulsando en la opción “Nuevo” de cada grupo.
- ✓ Los usuarios administradores pueden asignar previamente a los tutores los laboratorios que luego éstos van a utilizar en su docencia, o asignar o reservar laboratorios para los alumnos.
- ✓ Asimismo los administradores también pueden asignar a cada tutor los alumnos que debe tutorizar (Figura 5.49), de manera que posteriormente los tutores puedan gestionar a sus alumnos.



| Variable | Valor |
|-------------|--------------|
| Rol | est |
| Nombre | Ana |
| Apellido1 | Alumno |
| Apellido2 | Alumni |
| NIF | |
| email | ana@mail.com |
| phone | 55555 |
| Nexpdte | 200001 |
| id_lab_asig | |
| Login | Ana |

Figura 5.49. Gestión de servicios de cambio o asignación de tutor por un administrador.

- ✓ Los administradores, al igual que lo explicado durante el uso del software, tienen acceso total a todos los laboratorios y son los únicos que pueden editar sus características (Figura 5.50); ya hayan sido creados por ellos o por otros administradores; y acceso a los informes, tanto de los tutores como de los alumnos, como de otros administradores.

Los laboratorios creados por cada administrador se recogen debidamente en la base de datos dentro de su perfil de usuario, para saber; si es necesario; qué laboratorios son gestionados por un determinado administrador. Como se ha indicado, el usuario debe tener cuidado con los cambios realizados y asegurarse de que el laboratorio funciona correctamente después de haberlos aplicado.

| Variable | Valor |
|--------------|-------------------------------------|
| Name | Brazo1 |
| Comm | Serie |
| Type | Brazo |
| EnviarDatos | <input checked="" type="checkbox"/> |
| RecibirDatos | <input type="checkbox"/> |
| Pin0RX | <input type="checkbox"/> |
| Pin1TX | <input checked="" type="checkbox"/> |

Figura 5.50. Edición de los datos de un laboratorio por un administrador.

- ✓ Los administradores pueden activar o desactivar los laboratorios cuando lo deseen, bien sea por razones de mantenimiento, limpieza o para que no aparezcan disponibles sin tener que eliminarlos (Figura 5.51).

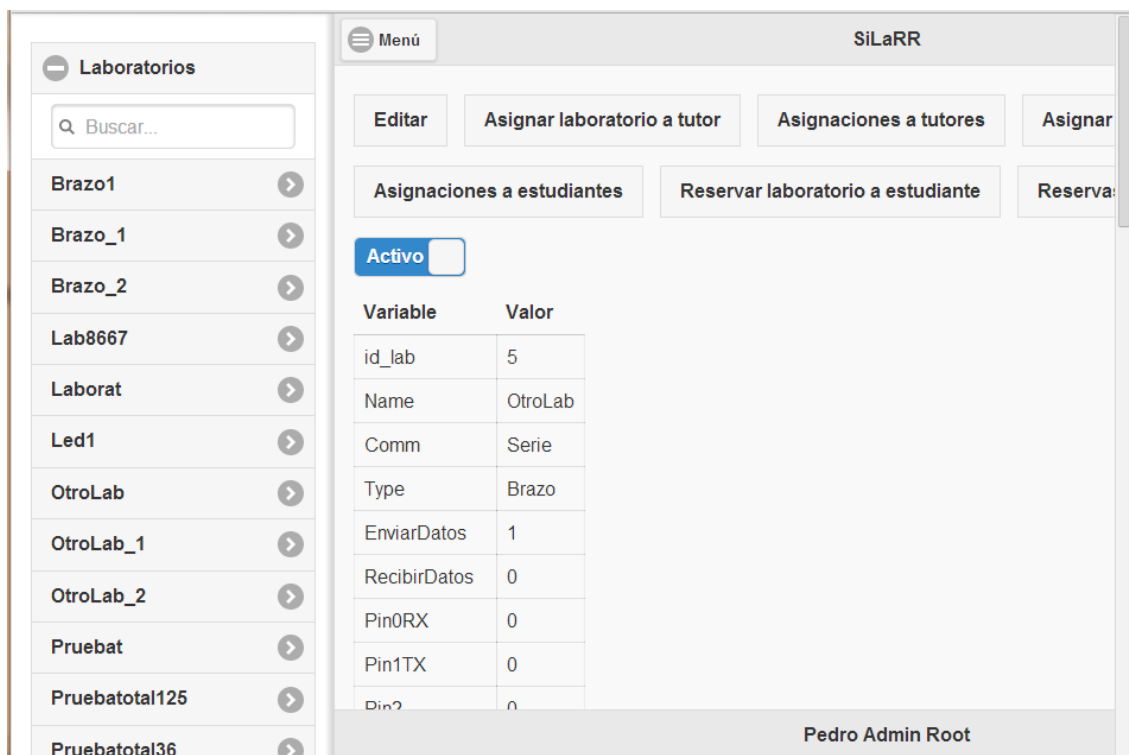


Figura 5.51. Activar o desactivar laboratorio.

- ✓ Los administradores pueden acceder a los informes, ficheros e informes sobre ficheros subidos por cualquier usuario, ya sea éste administrador, tutor o alumno. Actualmente solo los alumnos están habilitados para subir ficheros.
- Servicios de tutorización:
 - ✓ Los tutores pueden crear alumnos a los que poder tutorizar, si bien no pueden asignarse alumnos creados por otros tutores y tan solo tienen acceso a sus alumnos asignados.
 - ✓ De la misma forma pueden asignar o reservar un laboratorio para sus alumnos y para ellos mismos.
 - ✓ Los tutores pueden cambiar la asignación de tutor de sus alumnos y pasárselos a otro tutor. Se recomienda realizar estos cambios teniendo en cuenta el visto bueno del nuevo tutor, porque el alumno dejará de mostrarse en el perfil del tutor antiguo a partir del cierre de la sesión actual en la web y el inicio de la nueva sesión.
 - ✓ Los tutores pueden ver los informes de todos sus alumnos asignados, así como acceder a los ficheros que sus alumnos hayan subido al laboratorio y a los informes de los datos temporales de subida de dichos ficheros.
- Servicios para alumnos:
 - ✓ Los alumnos pueden reservar un laboratorio utilizando el sistema del calendario mostrado anteriormente.

- ✓ Los alumnos pueden subir ficheros a cualquier laboratorio que tengan asignado. El último fichero guardado será el último fichero subido. Actualmente el servicio de subida de ficheros se mantiene aunque finalice el período de asignación del laboratorio.
- ✓ Los alumnos pueden consultar sus propios informes.

De la misma forma todos los usuarios podrán acceder a cualquiera de sus laboratorios disponibles, en cualquier momento que lo deseen, simplemente con pulsar en el botón “Usar laboratorio” (Figura 5.52).

Si el laboratorio estuviera ocupado entonces se efectuará una reserva automática para el siguiente periodo de treinta minutos disponible y mientras se mostrará el contador de tiempo. Una vez este llegue a su fin el usuario accederá automáticamente al laboratorio.

Igualmente todos los usuarios tienen disponible la opción de “Buscar” que les facilita localizar un texto en las respectivas secciones dentro de sus asignaciones, para localizar más rápidamente un laboratorio concreto, un usuario o un tutor determinado.

Asimismo durante toda la navegación y exceptuando el caso de los informes, en que se muestran los nombres y apellidos, por defecto se utiliza el nombre de inicio de sesión como referencia para cada usuario, si bien en la parte inferior de la pantalla aparece el nombre y apellidos del usuario que ha iniciado sesión en ese momento.

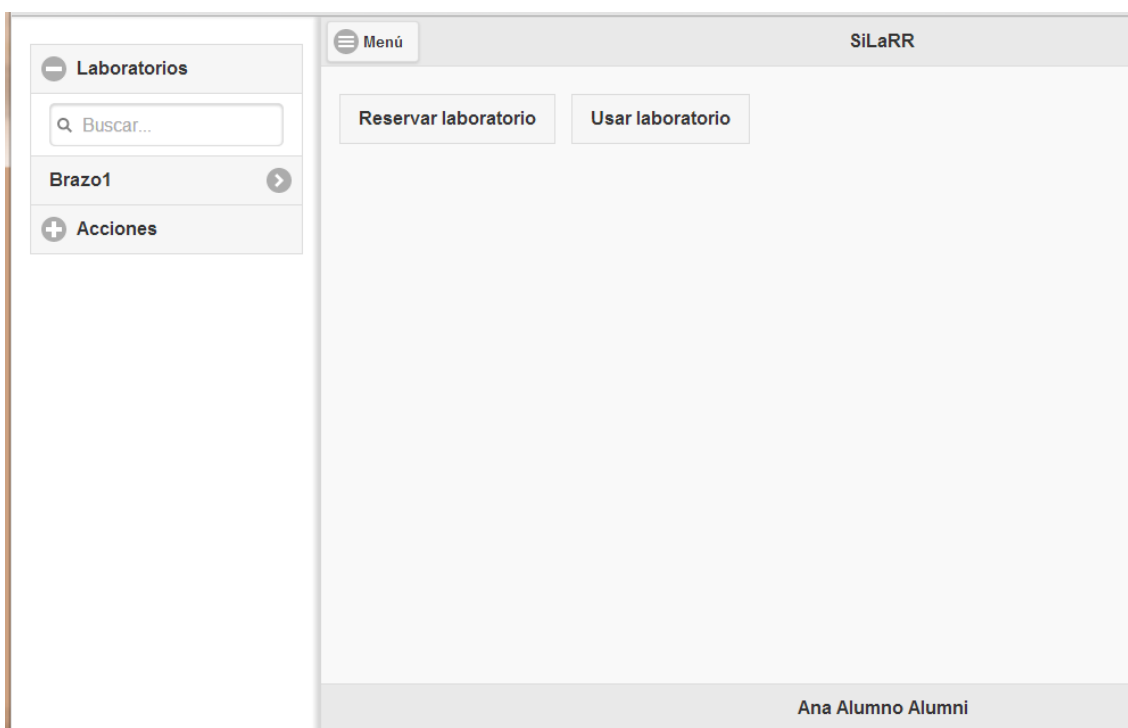


Figura 5.52. Se puede acceder directamente a un laboratorio libre pulsando “Usar laboratorio”.

Existen algunas herramientas a destacar:

➤ Laboratorios en anillo:

Por otro lado y respecto a la interacción directa con los laboratorios, ya se ha indicado anteriormente la existencia de dos tipos de laboratorios, los individuales y los laboratorios en anillo. Estos últimos tienen una configuración directamente diseñada para la gestión de colas y el uso en paralelo de varios laboratorios idénticos al mismo tiempo (Figura 5.53). Las prácticas realizadas muestran cómo es posible acceder a ellos siguiendo el esquema de reservas y accesos ya visto previamente.

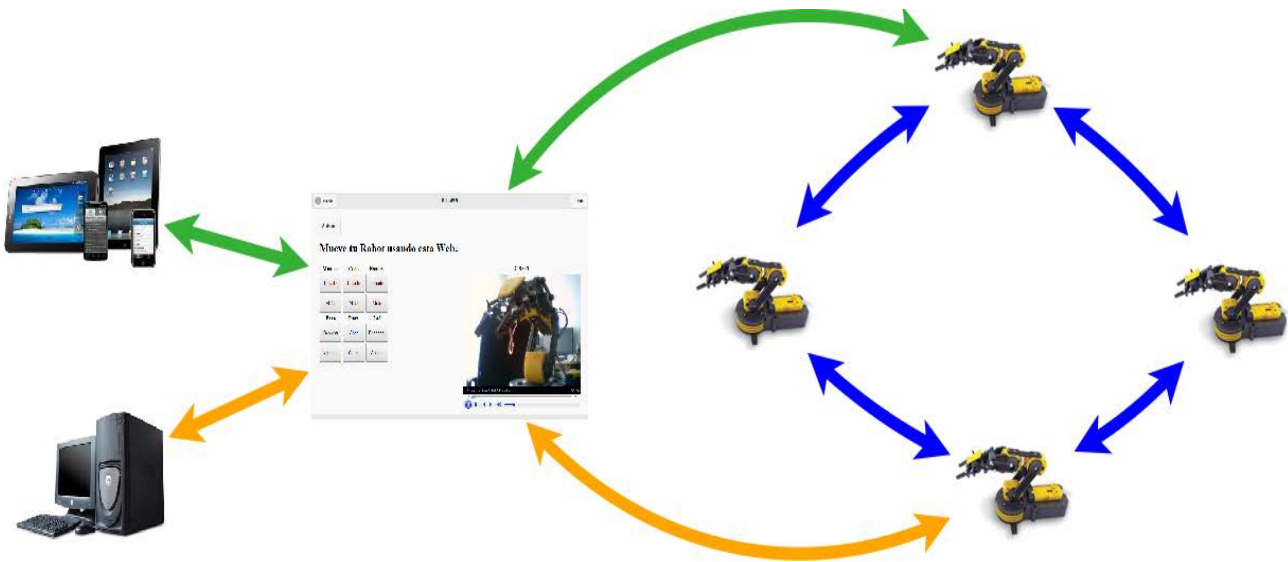


Figura 5.53. Funcionamiento de laboratorios en anillo.

El procedimiento es sencillo, una vez que a un usuario se le asigna un laboratorio perteneciente a un anillo de laboratorios, al acceder a él se comprobará si está ocupado o no. Si está ocupado se recorrerán el resto de laboratorios pertenecientes al anillo hasta encontrar uno disponible no ocupado. Si no hay ninguno se activará el contador sobre el laboratorio que tardará menos tiempo en quedar libre.

El sistema permite de esa manera que haya tantos usuarios conectados como laboratorios pertenezcan al anillo, aumentando así el número de usuarios atendidos. Se recomienda utilizar laboratorios en anillo cuando se prevea que habrá un uso masivo de los mismos.

El sistema de laboratorios en anillo puede ser utilizado por varias instituciones educativas a través de una misma base de datos de gestión de los mismos. Dada la flexibilidad de SiLaRR, con la configuración adecuada se podría implementar manualmente el uso de laboratorios en anillo pertenecientes a diferentes bases de datos de gestión si fuera necesario.

➤ Subida de archivos:

Como se ha indicado previamente los alumnos también pueden interactuar con el sistema subiendo archivos a los laboratorios que tengan asignados. Para ello

una vez que accedan a un laboratorio y tengan este reservado, o accedan directamente a él (con lo que el sistema les aplicará una reserva inmediata por el intervalo de 30 minutos pertinente), se generará una entrada en la sección “Informes” del Menú. Entrando en esta sección, el alumno podrá acceder a esa reserva en la que para subir ficheros solo tendrá que pulsar sobre el icono de la derecha de la fila, que representa un ojo (Figura 5.54).










| Menú | | SiLaRR | | | Salir |
|-----------------|-----------------|-------------|------------|----------|---|
| Exp. | Usuario | Laboratorio | Fecha | Hora | |
| 20002 | Pepe Alumno Est | Brazo1 | 2014-04-03 | 21:30:00 |  |
| 20002 | Pepe Alumno Est | Brazo_1 | 2014-04-03 | 21:00:00 |  |
| 20002 | Pepe Alumno Est | Brazo1 | 2014-04-01 | 20:30:00 |  |
| 20002 | Pepe Alumno Est | Brazo_1 | 2014-04-03 | 10:30:00 |  |
| 20002 | Pepe Alumno Est | Brazo_1 | 2014-04-03 | 16:00:00 |  |
| 20002 | Pepe Alumno Est | Brazo1 | 2014-04-06 | 18:00:00 |  |
| 20002 | Pepe Alumno Est | BDprueba8 | 2014-04-07 | 09:30:00 |  |
| 20002 | Pepe Alumno Est | Brazo1 | 2014-04-07 | 09:30:00 |  |
| 20002 | Pepe Alumno Est | Brazo1 | 2014-04-08 | 11:00:00 |  |
| Pepe Alumno Est | | | | | |

Figura 5.54. Listado de informes de un alumno por laboratorio.

Pulsando en el citado icono el alumno tendrá acceso a la pantalla de subida de archivos y a los archivos que ya haya subido previamente (Figura 5.55). En esta pantalla hay dos opciones posibles, por un lado subir un nuevo archivo pulsando en el botón “Elegir archivo”, y por otro lado acceder a un archivo subido previamente pulsando sobre el icono con la carpeta y la flecha que aparece a la derecha de la fila.

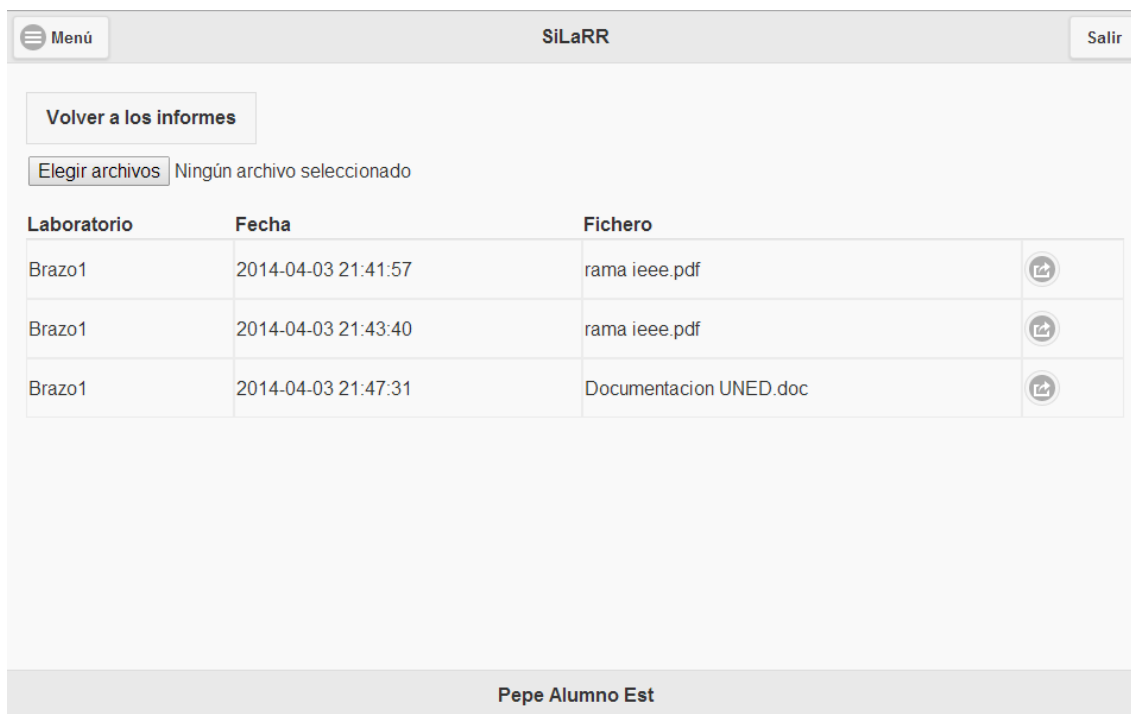


Figura 5.55. Subida y acceso a ficheros de un laboratorio.

Cada laboratorio tiene su propio repositorio de ficheros, y cada alumno tiene su propia carpeta, asignada automáticamente por SiLaRR, con el número de su identificativo genérico en la base de datos del sistema (Figura 5.56). Queda un registro, que también puede consultar el tutor y los administradores, de todos los ficheros subidos a ese laboratorio. En caso de subir un fichero con el mismo nombre, como ya se ha indicado, se sobrescribe el anterior, pero queda el registro de subida igualmente.

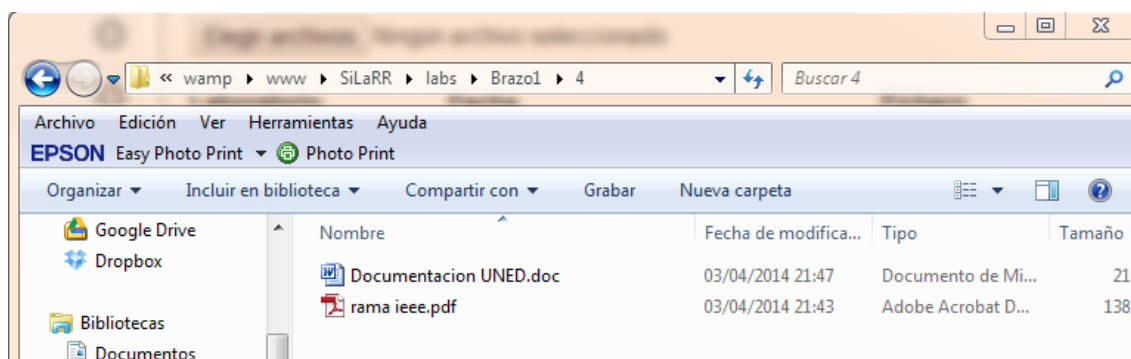


Figura 5.56. Contenido de la carpeta creada para el usuario con identificador “4” dentro del laboratorio “Brazo1” y ficheros subidos a ella.

➤ Informes de uso y de aviso de actividad:

Cualquier usuario puede acceder a la sección de “Mis reservas” e “Informes”. En “Mis reservas” podrá ver las reservas que tiene asignadas y que están vigentes en el tiempo. En el caso de “Informes” se sigue una estrategia de autorización con lo que los usuarios alumnos solo podrán ver sus informes, los usuarios tutores podrán ver solo los informes de sus alumnos asignados y los usuarios administradores tendrán acceso a todos los informes del sistema e incluso a los de otros administradores (Figura 5.57).

| SiLaRR | | | | |
|--------|-------------------|---------------|------------|--|
| Exp. | Usuario | Laboratorio | Fecha | |
| 000001 | Pedro Admin Root | Ethernet1 | 2014-04-06 | |
| 000001 | Pedro Admin Root | UNEDVLC3 | 2014-04-06 | |
| 000001 | Pedro Admin Root | UnedRobotVLC2 | 2014-04-06 | |
| 000001 | Pedro Admin Root | UnedRobotVLC2 | 2014-04-06 | |
| 100015 | Luis Tutor Ruiz | Brazo_2 | 2014-04-03 | |
| 200001 | Ana Alumno Alumno | Brazo_1 | 2014-04-03 | |
| 000001 | Pedro Admin Root | UnedRobotVLC2 | 2014-04-06 | |
| 200001 | Ana Alumno Alumno | Brazo_2 | 2014-04-04 | |
| 100015 | Luis Tutor Ruiz | Brazo_1 | 2014-04-04 | |
| 100015 | Luis Tutor Ruiz | Brazo1 | 2014-04-04 | |

Figura 5.57. Visualización de informes desde el punto de vista de un administrador.

De la misma manera y siguiendo esa misma estrategia de autorizaciones al acceder a la sesión cada usuario verá en la pantalla principal las últimas reservas posteriores a la fecha actual realizadas por aquellos usuarios sobre los que tenga autorización (Figura 5.58). A eso se le ha denominado aviso de actividad. De esa manera al iniciar una sesión, cada usuario, estará informado de las reservas que él mismo haya hecho (en el caso de un alumno) o de las que han realizado sus usuarios dependientes (en el caso de un tutor).

| SiLaRR | | | | |
|--------|-----------------|-------------|------------|----------|
| Exp. | Usuario | Laboratorio | Fecha | Hora |
| 20002 | Pepe Alumno Est | BDprueba8 | 2014-04-07 | 09:30:00 |
| 20002 | Pepe Alumno Est | Brazo1 | 2014-04-07 | 09:30:00 |
| 20002 | Pepe Alumno Est | Brazo1 | 2014-04-08 | 11:00:00 |

Pedro Admin Root

Figura 5.58. Visualización de avisos de actividad desde el punto de vista de un administrador.

Las asignaciones no se visualizan ni en los informes ni en los avisos de actividad.

Como puede apreciarse SiLaRR combina diferentes sistemas de accesos, herramientas, opciones y variantes de uso. Siempre se ha buscado facilitar la integración en el sistema de nuevos módulos que le permitan evolucionar.

5.5. Modularidad

Esa razón ha motivado que desde el primer momento se buscaran nuevas utilidades en base a desarrollos prácticos, primeramente para laboratorios de robótica, pero en cuanto se dio la oportunidad también se realizó un módulo para otro tipo de laboratorios.

La versión 1.0 de SiLaRR aquí mostrada combina muchas de las posibles opciones de uso barajadas. Dado que esta tesis doctoral se ha centrado fundamentalmente en la investigación de opciones que faciliten el proceso de integración de laboratorios remotos, en ella se han intentado cubrir el mayor número de variantes posibles que un usuario puede encontrarse a la hora de enfrentarse a un laboratorio de este tipo, tanto desde el punto de vista del administrador como del uso que le pueda dar el tutor y por supuesto el aprovechamiento que pueda proporcionar al alumno.

Pero las opciones de integración de nuevos módulos y funciones van en relación al uso que se quiera dar a este sistema y al interés de incrementar su aprovechamiento.

Por ese motivo en apartados anteriores se ha hablado de Arduino como hardware libre elegido, pero también se han citado Raspberry Pi y BeagleBone como candidatos a integrarse en el sistema.

Por eso a la hora de enfrentarse a la gestión de colas se han dado diferentes y variadas opciones y se han implementado todas ellas para mostrar cómo funcionan en la realidad y sus posibilidades.

Por eso al hablar de equipos robotizados y de otros laboratorios se han mostrado diferentes variantes e incluso se han integrado dos opciones relativas a Arduino Mega.

Por eso al exponer la gestión de informes se han asignado diferentes capacidades a cada tipo de usuario para ver cómo puede funcionar cada variante en cada caso y que utilidades puede proporcionar.

Como se indica, en un trabajo de investigación se buscan y desarrollan distintos caminos y en el caso de SiLaRR se han implementado todos aquellos que han resultado interesantes para continuar evaluando o desarrollando más a fondo. El cliente final puede añadir nuevas sugerencias a estas funcionalidades, eliminarlas o aumentarlas, la flexibilidad de SiLaRR permitirá adecuar el sistema a cada necesidad.

Una única razón ha motivado este enfoque: la modularidad, y con ella el establecer este proyecto como una verdadera versión 1.0 que deberá seguir creciendo y desarrollándose con nuevas aportaciones, módulos e implementaciones que justifiquen el hecho de que su licencia de uso sea GPLv3.

5.6. Integración

Pero para ello se tiene que demostrar que dichos módulos facilitan la integración. Las pruebas realizadas con los diferentes protocolos de comunicaciones, los diferentes equipos robotizados, las diferentes opciones de uso y los distintos enfoques estudiados, desde el lado del servidor, del cliente y del laboratorio, han permitido comprobar cuáles son las posibilidades reales, los problemas resolubles y las opciones descartables.

Si inicialmente los planteamientos se estructuraron en la teoría, la práctica fue dirigiendo la investigación, permitiendo desechar callejones sin salida y añadir nuevas herramientas y vínculos a la misma que fueran permitiendo un despliegue real con capacidad para usarse en el control de equipos robotizados comerciales que reflejaran servicios habituales, en la gestión de otros equipos utilizados habitualmente en el ámbito académico para prácticas o laboratorios ya existentes, o para otros equipos robotizados utilizados en la propia industria. Para ello se hizo hincapié en la elección de actuadores, sensores o elementos señalizadores, que pudieran trasladarse a otros ámbitos.

Las pruebas realizadas han demostrado esta integración, pero la investigación llegó aún más lejos cuando consiguió mostrar en diferentes proyectos en marcha, las posibilidades de uso de SiLaRR, y este sistema se utilizó para desplegar laboratorios con nuevos servicios y utilidades en combinación con otras tecnologías educativas.

Como en el caso de la modularidad, la integración de nuevos equipos y dispositivos permitirá que SiLaRR se enriquezca y continúe desarrollándose. La tecnología decidirá en que direcciones.

5.6.1. Modelado SICTER

SiLaRR se caracteriza por tener una interfaz amigable, sencilla y comprensible para el usuario. No obstante, y para que la investigación pudiera llegar a buen término, se analizaron en su desarrollo secciones bien diferenciadas que siguieron el mecanismo mostrado por el sistema SICTER, [20]. El esquema básico de SICTER formado por la definición de objetivos, el estudio del entorno de integración, el análisis del equipo robotizado, la implementación hardware y software del sistema, las pruebas y ajustes del sistema y el mantenimiento del mismo, se utilizó no solo con SiLaRR sino también con cada uno de los laboratorios que finalmente configuraron los módulos disponibles.

Con una definición de objetivos claramente orientada al desarrollo de un sistema que facilitará el despliegue e integración de laboratorios remotos de robótica y un estudio del entorno exhaustivo que cubría diferentes escenarios, se pueden destacar varios de los puntos clave en este proceso:

I. Entorno del servidor:

En él se procedió a realizar la instalación del paquete completo. Está diseñado para funcionar en un Sistema Operativo Windows 7 o superior de 64 Bits, en concreto también se han realizado pruebas con Windows 8 Pro y Windows 8.1 Pro. Dadas las características del sistema posiblemente sea compatible con entornos de 32 bits y sistemas operativos Windows XP, pero no se ha podido verificar.

Como se ha visto, la instalación de la suite de laboratorios visualiza paso a paso cada una de las secciones a considerar:

- Instalación de la propia suite: Para ello se encapsula todo el paquete en un instalador (en nuestro caso Inno Setup). Su función; una vez personalizado; ha sido:
 - Instalar las herramientas necesarias ya vistas: Apache, PHP y MySQL.
 - Instalar la suite de configuración y gestión del sistema (verdadero núcleo del sistema).
 - Instalar el software de Arduino para la gestión del hardware que acompaña al sistema.

- Configuración de la suite y de las herramientas instaladas:
 - Al finalizar la instalación se ejecuta la suite de configuración. En ella el usuario debe ir respondiendo a determinadas preguntas que posteriormente se utilizan para configurar el sistema al completo:
 - ✓ Datos del usuario administrador, datos de usuarios tutores, tipo de laboratorio remoto robotizado (bípedo, brazo, robot con ruedas, etc.). Podrán incluirse una vez finalizada la instalación o durante la misma.
 - ✓ Datos de la dirección, o direcciones, IP de la, o las, webcam que se utilizarán para la visualización general del laboratorio, hasta permitir que un máximo de tres cámaras puedan ser integradas en el equipo si fuera necesario.
 - Una vez finalizado este proceso con la pertinente confirmación de los datos, la suite procede a cargar o sobrescribir todos los datos necesarios con las herramientas ya instaladas. El objetivo es, no solo integrar, sino permitir modificar esa integración de una manera cómoda y segura.

Finalmente, desde el servidor web se puede acceder en tiempo real a la visualización de la configuración del sistema, modificar datos y utilizar los laboratorios.

II. Entorno del equipo robotizado:

En él se procede a realizar la configuración del equipo robotizado. Para ello se atiende a ciertas características introducidas en la suite. Se han implementado librerías específicas para los módulos previamente cargados en la suite, con lo que es importante que los datos se seleccionen de manera adecuada.

- Configuración de los datos necesarios para el equipo robotizado en la suite de configuración:
 - Tipo de laboratorio a integrar: bípedo, robot de ruedas, brazo, LED RGB.

- Modo de conexión del laboratorio: serie, Wi-Fi, Ethernet. En cada caso el proceso de configuración será distinto.
- Instalación del software pertinente de Arduino.
- Selección en la suite de configuración de los servicios a utilizar del equipo robotizado: Se lleva a cabo mediante opciones de selección establecidas a tal efecto (facilitando al usuario su elección). Para esta selección se ofrece la visualización de los pines a utilizar por el Arduino UNO R3.
- Generación del código a cargar en el Arduino Uno R3 para el correcto funcionamiento del equipo: El archivo generado se cargará posteriormente por el usuario en el software de compilación de Arduino instalado anteriormente por la suite.

III. Interacción por parte del usuario:

- Integración del hardware: Mediante el cual el usuario deberá conectar el equipo robotizado a la placa Arduino en los pines seleccionados previamente para traspasar así el control del equipo a SiLaRR y posibilitar su acceso, uso y control mediante Internet.
- Carga del archivo generado: Compilación del mismo y envío de este a la placa de Arduino. Todo este proceso es realizado mediante el uso del propio software de Arduino.

Estos tres primeros puntos se ven reflejados en la Figura 5.59 y constituyen el pilar fundamental del sistema. Un correcto seguimiento de las instrucciones de instalación y configuración evitará problemas posteriores y agilizará la implementación de todo el sistema y sus laboratorios. No obstante si el usuario administrador comete algún error podrá subsanarlo fácilmente en la sección de configuración de la propia suite de software, o vía web, en cualquier momento.

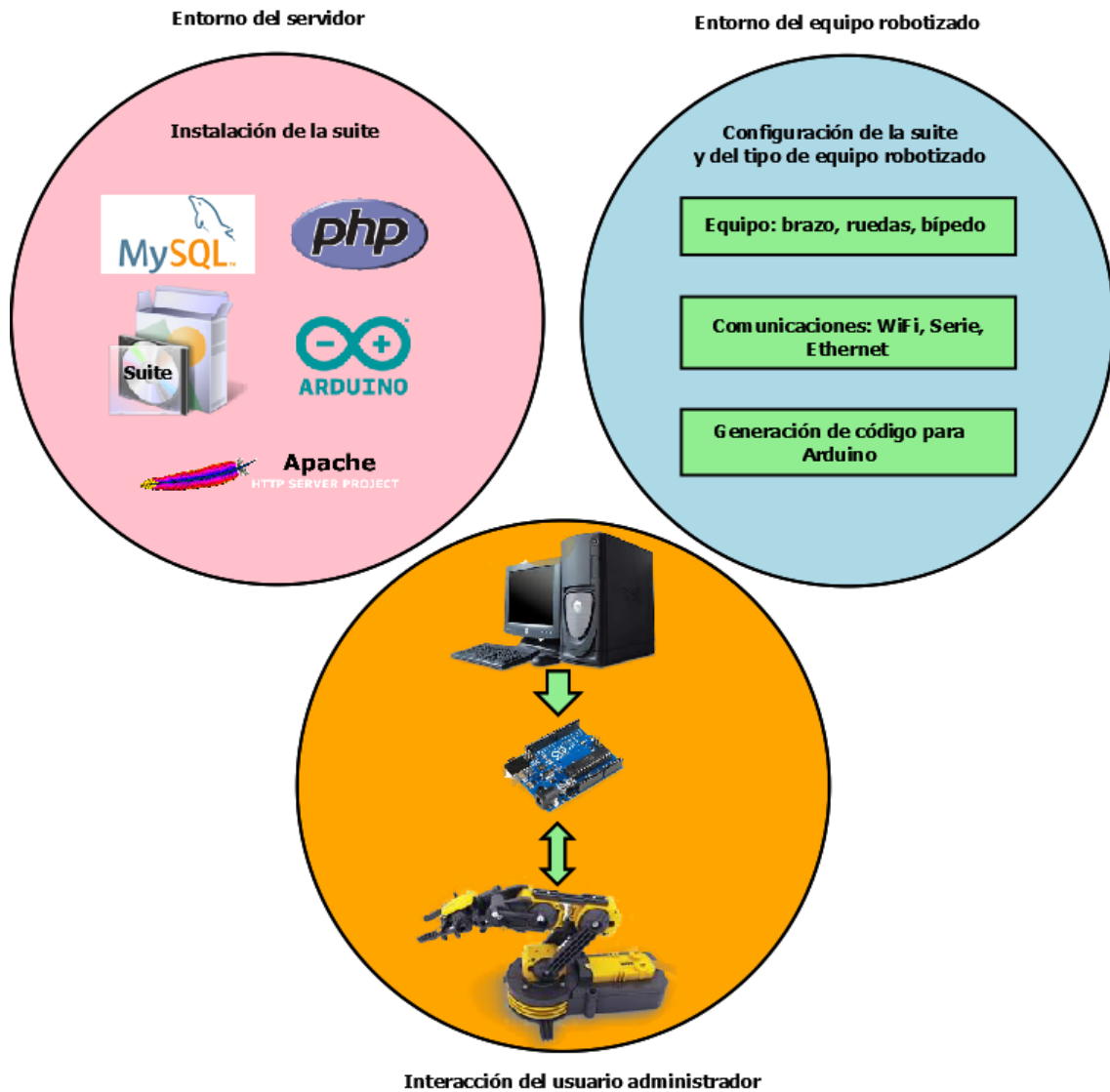


Figura 5.59. Pilares básicos de SiLaRR.

IV. Pruebas del sistema:

- Si la instalación e integración ha sido correcta: El usuario podrá acceder ahora al equipo robotizado y visualizar las webcams instaladas en el sistema.
- Activar el modo en línea y el servidor: Permitirá el despliegue y el acceso externo para el uso de los laboratorios por parte de los estudiantes y/o tutores censados.

V. Configuraciones posteriores y seguimiento:

- El administrador puede acceder a la suite de configuración: En cualquier momento, el administrador, podrá acceder a la suite para ejecutar de nuevo el proceso de configuración o modificar los datos iniciales si fuese necesario, o bien realizar directamente esos cambios vía web.
- Asimismo el administrador y los tutores en función de su nivel de autorización podrán acceder a la base de datos MySQL: Para modificar estatus de usuario,

creación o eliminación de usuarios, altas y bajas de alumnos, etcétera. Dicho acceso se realizará vía web, en local, a través de la propia suite de configuración, o en remoto mediante las autorizaciones previas asignadas por el administrador.

- Se permite un seguimiento por parte de los tutores y del administrador de los datos de uso y variables de uso educativo: Este seguimiento puede llegar a implementarse para permitir usos de *learning analytics* mediante ese mismo acceso web remoto y en función de los niveles de autorización establecidos.

VI. Mejoras y personalización del sistema:

Inicialmente solo existen un determinado número de laboratorios predefinidos pero el sistema permite:

- La inclusión modular de nuevos modelos de laboratorios, en base a la configuración de las librerías adecuadas necesarias y la integración de estas en la suite.
- Integración de laboratorios no robotizados, siguiendo el mismo esquema de uso de software y hardware ya predefinido.
- Actualización de las herramientas del sistema.
- Actualización de la suite de configuración.
- App para Smartphone con Android, que facilitará aún más el acceso al laboratorio desde cualquier lugar por parte de los alumnos.

La metodología seguida anteriormente está específicamente orientada al usuario administrador. Se ha buscado facilitarle el trabajo de instalación e integración del laboratorio. Pero al mismo tiempo no se ha olvidado al tutor ni al alumno.

Los alumnos y tutores lo tienen todavía más fácil. Después de analizar diferentes posibilidades se decidió aumentar la dificultad en el lado del administrador a costa de facilitar lo máximo posible el acceso al alumno o al tutor. De esta manera el alumno o tutor solo necesitará un acceso a Internet, una dirección URL (que la facilita la propia suite al ser instalada y configurada) y unas credenciales (nombre de usuario y contraseña).

Con todo ello el alumno o tutor podrá acceder directamente al laboratorio desde Internet simplemente escribiendo en su navegador la dirección de la página web indicada por el administrador del sistema y desde ella; una vez logado y comprobadas sus credenciales; podrá acceder al sistema y empezar a utilizarlo en tiempo real.

Como en la filosofía propuesta por SICTER, solo se inició la implementación del SiLaRR cuando se tuvieron claras las limitaciones del sistema y sus posibilidades de uso en base a los objetivos previos. El resultado ha sido un sistema funcional, modular, versátil, escalable, integrador, no intrusivo, y útil a nivel formativo y educativo, y más sencillo y económico que los sistemas propietarios existentes en el mercado y previamente citados.

5.6.2. Ajustes personalizados

La flexibilidad de SiLaRR muestra que si bien es efectivo como sistema generalista, permite, gracias a su modularidad, diseñar otros sistemas derivados, también autoinstalables, con módulos únicos o específicos para el ámbito formativo. El código fuente de este trabajo se ha desarrollado de manera que presente diferentes alternativas posibles para mostrar la verdadera flexibilidad de SiLaRR.

El cliente solo tiene que indicar cuáles son sus necesidades específicas, así como las opciones que desea conservar o añadir a SiLaRR, y con todo ello se puede personalizar hasta tal punto el sistema que se puede incluso integrar con sistemas propios, o externos como mediante el uso de la API de Google para Gmail, para configurar el inicio de sesión, sistemas de reserva específicos, equipos robotizados propios o sistemas de gestión de informes, o incluso variables o campos específicos a incluir en esos informes decididos por el propio cliente.

De la misma forma se pueden habilitar módulos para el sistema de gestión remoto de datos utilizando servicios RESTful con JSON o XML, [242], o el envío de metadatos específicos para análisis de información en la línea de *big data*, [112], o más en concreto para *learning analytics*, [214], [243], hasta el punto de permitir adaptar el entorno según el tipo de estudiantes que van a interactuar con él, [244].

Se pueden combinar bases de datos ya existentes o incluso habilitar nuevos servicios, además del de subida de ficheros mostrado, para incrementar su uso como repositorio de documentación y facilitar así las labores del tutor o profesor, o incluso de los propios alumnos que utilicen los laboratorios.

Debido al enfoque generalista de SiLaRR y dado que es evidente que existen múltiples tipos de equipos robotizados y laboratorios, todo el sistema de integración modular y el acceso remoto a través de diferentes dispositivos fijos o móviles, permiten un amplio abanico de opciones que pueden cubrir las necesidades de un gran número de clientes que trabajen o quieran trabajar con laboratorios remotos, utilizando las ventajas de la tecnología existente, pero simplificando el entorno y el proceso de creación de los mismos, frente a otras arquitecturas utilizadas, [245]. El objetivo es poner en contacto equipos robotizados y alumnos, [246], permitir que el conocimiento de aquellos facilite en un futuro su aprovechamiento, en las tareas cotidianas, [247], por parte de estos, [248].

De la misma forma se debe destacar que el diseño no era el objetivo de este trabajo, si bien el uso de jQuery y sus librerías para facilitar el contenido de estilos y archivos *.css y por consiguiente el aspecto visual, es asimismo personalizable con los logotipos del cliente, y aquellas opciones estéticas que resulten más atractivas al usuario final; tanto en lo que respecta al entorno en general como en los diferentes laboratorios en particular, [249]; personalizar el nombre de las cabeceras de los campos de las tablas de la base de datos o realizar cualquier otro cambio de diseño que requiera el cliente.

La razón de todo esto es muy simple, un sistema como SiLaRR solo es útil si se utiliza. Para ello se han investigado y seleccionado las distintas posibilidades que aquí se han convertido en funcionales. Para generalizar ese uso nada mejor que permitir que

el sistema se adapte al cliente. La personalización es también perfectamente integrable en SiLaRR.

5.7. Conclusiones

A lo largo de este capítulo se ha realizado un análisis exhaustivo del funcionamiento de SiLaRR y de la importancia que cada una de sus herramientas tienen en el sistema.

Empezando en el lado del servidor, cuya gestión se realiza directamente a través del instalador multilingüaje; pieza clave del sistema; facilitando así al usuario administrador la configuración de la base del sistema. Se ha explicado como las herramientas analizadas en apartados anteriores se unen para permitir al usuario la interacción completa con SiLaRR y conseguir así el aprovechamiento máximo del sistema para alcanzar el objetivo de integrar y desplegar laboratorios remotos de robótica, así como otro tipo de laboratorios. Tanto el despliegue de la interfaz web de SiLaRR como la configuración de WampServer se vuelven acciones intuitivas con el instalador desarrollado para ello.

Continuando con el lado del cliente se ha procedido a explicar y analizar cada una de las opciones disponibles en el servidor web. Siempre se ha mantenido una visión funcional, y así se han desarrollado los distintos tipos de usuarios, los tipos de laboratorios existentes y las diferentes opciones de reserva y asignación de laboratorios.

La gestión y configuración del sistema ha permitido ver cómo funciona el software de SiLaRR a través de la suite implementada para ello. En español o inglés, el usuario puede ir paso a paso indicando a SiLaRR que laboratorio desea instalar, y para ello se ofrecen los diferentes módulos de que consta actualmente. Una vez más todo el proceso se realiza de manera guiada y utilizando Arduino UNO R3 como hardware, con las opciones complementarias que ofrecen los diferentes protocolos de comunicaciones personalizados en el puerto serie o los shield Wi-Fi y Ethernet del propio Arduino. La generación de los archivos pertinentes, tanto para el entorno web como para el hardware de Arduino, y la gestión de la base de datos general utilizando también dicho software como complemento a la interfaz web ya vista, se muestran con ejemplos de uso real.

La importancia que los tres procesos de instalación, configuración y despliegue del sistema constituyen para SiLaRR, da lugar a un estudio completo del proceso de gestión de datos de usuarios y laboratorios implementado para este sistema. Una vez más la interfaz web se muestra como complemento ideal para una correcta gestión y acceso remoto al sistema. A través de ella se pueden editar o modificar las características de los laboratorios, los tutores y alumnos, así como acceder a laboratorios en anillo, subir archivos, o acceder a informes de uso y actividad.

Pero todo ello cobra aún mayor importancia cuando se explica precisamente la modularidad de que se ha dotado a SiLaRR, que busca ser un sistema vivo en constante desarrollo. Dicha modularidad, junto con su capacidad de integración de laboratorios, es lo que se debe potenciar y seguir aumentando con la aportación de nuevos módulos, de gestión, de laboratorios, de acceso al sistema, dotándolo de una mayor capacidad de despliegue y divulgación.

Para finalizar se describe la importancia que SICTER ha tenido en el desarrollo e implementación de SiLaRR, mostrando los tres pilares del sistema: el entorno del servidor, el entorno del equipo robotizado, y la interacción del usuario administrador, citándose también el resto de tareas de SICTER para garantizar una adaptación completa de los laboratorios en el sistema. Dejando un espacio para describir las capacidades de personalización de SiLaRR con ajustes predefinidos por el cliente o para una mejor integración respetando sistemas de inicio de sesión y de acceso ya existentes en el entorno en que se va a desplegar, o respetando la imagen corporativa si así lo requiere el cliente final.

“The most exciting phrase to hear in science, the one that heralds the most discoveries, is not ‘Eureka!’ but ‘That’s funny...’.”

[La frase más emocionante a escuchar en la ciencia, aquella que anuncia la mayoría de los descubrimientos, no es “¡Eureka!”, sino “Es curioso...”]

— Isaac Asimov

Capítulo

6

6. Utilización práctica del sistema

Como ya se ha indicado la verdadera naturaleza de SiLaRR radica en su utilidad, y de nada serviría desarrollar un sistema así si este no tiene un contacto directo con el usuario final y sus módulos de laboratorios no tienen una utilidad real.

SiLaRR no solo se está utilizando actualmente, sino que ha tenido la suerte de poder contar con despliegues reales según su código fuente, y el sistema, ha ido avanzando, permitiendo así una realimentación positiva que permitió dejar atrás las versiones beta y llegar a esta tesis doctoral con una versión 1.0 completamente útil y con casos de uso reales como prueba y que se analizan a continuación.

6.1. Entornos con equipos robotizados

Inicialmente SiLaRR fue diseñado para la integración de laboratorios remotos de robótica con lo que su orientación en los primeros años de desarrollo buscó afianzarse en proyectos con esas características. A continuación se relacionan algunos de estos proyectos y se explica cómo han utilizado SiLaRR y como han enriquecido también la implementación de SiLaRR hasta llegar al sistema mostrado en esta tesis doctoral.

6.1.1. Proyecto TechnoMuseum

En noviembre de 2011 nace el Proyecto TechnoMuseum, [250], con el objetivo de impulsar la divulgación científica y tecnológica entre la sociedad mostrando usos racionales de la misma y enseñando cómo la tecnología permite mejorar nuestro entorno sin necesidad de grandes inversiones económicas.

El proyecto está siendo financiado por la IEEE Foundation y se le asignó la referencia internacional “Techno-Museum: Discovering the ICTs for Humanity” (Figura 6.1), IEEE Foundation Grant #2011-118LMF. Con el IEEE participan en el mismo, el Capítulo Español de la Sociedad de la Educación, la IEEE Education Society, la Rama de Estudiantes del IEEE en la UNED, la Sección española del IEEE, el Grupo EduQTech (Universidad de Zaragoza), el Departamento de Ingeniería Eléctrica

Electrónica y de Control de la Escuela de Ingeniería Técnica y Superior de Ingenieros Industriales (UNED) y el Museo Nacional de Ciencia y Tecnología de España (MUNCYT), [251]. Bajo la coordinación de la doctora Inmaculada Plaza (Coordinadora del Proyecto) y con un importe total de 10.400 US\$ de inversión.



Figura 6.1. Logotipo del proyecto TechnoMuseum.

El papel de SiLaRR en ese proyecto consistía en facilitar el desarrollo, implementación e integración de un laboratorio con un equipo robotizado en anillo que estaría localizado físicamente en la UNED y en Teruel y al que deberían de tener acceso los visitantes del MUNCYT en A Coruña (Galicia), para manipularlo y controlarlo a distancia, viendo sus evoluciones a través de una cámara web.

Tras evaluar diferentes opciones se decidió utilizar el brazo robotizado C-9895 ya citado anteriormente. Dado su reducido coste (unos 44,00 €a la hora de escribir estas líneas) y sus características de hardware y configuración, se consideró idóneo para este objetivo.

Para realizar la integración se utilizaron las opciones modulares de los protocolos de comunicación con Arduino ya mostradas previamente y como interfaz de acceso, para el cliente, el modelo estándar de gestión mediante botones. Dado que el carácter de este laboratorio es el de acceso libre por parte del público asistente al museo, no se utilizó sistema de inicio de sesión si bien dada la disponibilidad de dos brazos robotizados, uno en la UNED Madrid y otro en el campus de Teruel en Zaragoza, se ha empleado también el sistema de gestión de laboratorios en anillo para permitir el acceso a los mismos cuando alguno de ellos esté disponible.

El sistema de uso responde a un criterio básico de interacción en el que cada botón describe su funcionalidad y las opciones disponibles (Figura 6.2). En el caso del C-9895 se decidió identificar con nombres reconocibles cada una de las funciones permitidas. Para ello se desplegaron los servicios de movimiento “Delante” y “Atrás” para la “Muñeca”, “Codo” y “Hombro”, y “Derecha e “Izquierda” para la “Base”, habilitando las opciones “Abrir” y “Cerrar” en la “Pinza”, y “Encender” y “Apagar” en el “Led”.



Figura 6.2. Interfaz de uso del brazo robotizado en el proyecto TechnoMuseum.

De esta manera y dado que la filosofía del proyecto consiste en acercar la tecnología a la vida diaria, se consiguió focalizar el efecto de que el usuario está controlando de manera remota al equipo robotizado con solo pulsar un botón.

El proyecto todavía está vigente y el laboratorio remoto del C-9895 se ve complementado con varios demostradores que los visitantes al MUNCYT también pueden utilizar y que son de una elevada utilidad social como es el caso de un dispositivo que permite aprender a leer Braille a niños y jóvenes, y un sistema de aviso y localización a través de *smartphone*, para la asistencia a ancianos y discapacitados. Todo ello unido a la realización periódica de talleres de robótica para niños y adultos en los que Arduino o sus variantes se utilizan como hardware básico, presentaciones y participación en actividades relacionadas con la tecnología y la divulgación científica, [252], convierten el proyecto TechnoMuseum en una propuesta para que los museos científicos sean una herramienta viva de divulgación, descubrimiento y motivación para iniciar a todos los públicos en la tecnología.

6.1.2. Máster del proyecto RIPLECS

Como parte del Proyecto RIPLECS – Remote-labs access in Internet-based Performance-centred Learning Environment for Curriculum Support – 517836-LLP-1-2011-1-ES-ERASMUS-ESMO, financiado por el Programa Erasmus (Life Long Learning) Multilateral Projects, de la Unión Europea, con un presupuesto de 389.661,00 € y en colaboración con otras universidades europeas (Universidad de Plovdiv, (Bulgaria), Universidad Técnica de Sofía, (Bulgaria), Universidad Técnica de Graz (Austria), y Cork Institute of Technology, (Irlanda)), el Departamento de Ingeniería Eléctrica, Electrónica y de Control de la UNED, (DIEEC), en 2013, ha puesto en marcha un Máster internacional.

Vistas las posibilidades de SiLaRR en el caso anterior, en octubre de 2013, a petición del doctor Sergio Martín, del DIEEC, se comienza a diseñar la utilización de otro brazo robotizado C-9895 como herramienta para las prácticas de la asignatura “Técnicas de microprocesadores” (Microprocessor Techniques) del citado Máster internacional de título “Máster Universitario En Sistemas Electrónicos De Información Y Comunicación” (Master in Information and Communication Electronic Systems).

Inicialmente se piensa en un uso similar al mostrado en el proyecto TechnoMuseum, pero dadas las características de la asignatura y la necesidad de una mayor interacción con los microprocesadores a través del código fuente, se propone utilizar Arduino como herramienta de hardware educativa; como SiLaRR la usa; permitiendo a los alumnos cargar el código fuente directamente sobre ella.

Conocida ya la posibilidad de integración completa del C-9895 gracias al trabajo realizado con SiLaRR, así como las limitaciones y ventajas de Arduino por haber sido sobradamente testadas también con SiLaRR, se plantea proponer como reto a los alumnos que compilen un código fuente en C++ que sea capaz, precisamente, de controlar algunos de los servicios del C-9895 de una determinada manera en función de unos niveles de dificultad predefinidos.

Dadas las necesidades citadas se diseña e implementa un entorno de gestión, compilación y carga de código que, en primer lugar, aproveche de SiLaRR las características de integración (Figura 6.3) y, en segundo lugar, personalice el proceso de implementación y compilación. Esta segunda parte fue llevada a cabo con la inestimable ayuda de Iago Rubio, miembro de la Rama de Estudiantes del IEEE en la UNED y colaborador activo en los proyectos de dicha Rama, así como en los talleres previamente citados del proyecto TechnoMuseum.



Figura 6.3. Pantalla de acceso al módulo de prácticas del Máster del proyecto RIPLECS.

Con dicho sistema se permite a los alumnos cargar remotamente el archivo codificado (Figura 6.4) y tras la compilación pertinente (Figura 6.5) comprobar si hay algún error y analizar la información obtenida durante la compilación (Figura 6.6), para posteriormente ver las evoluciones del brazo robotizado.



Figura 6.4. Pantalla de acceso con el archivo program.cpp cargado.

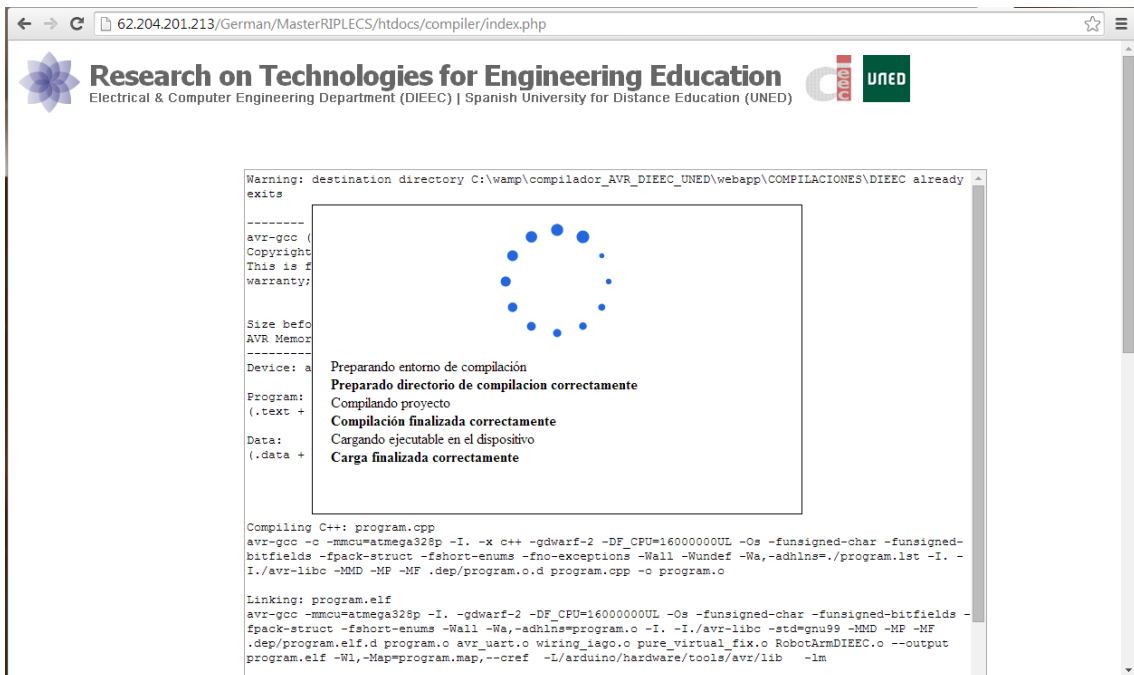
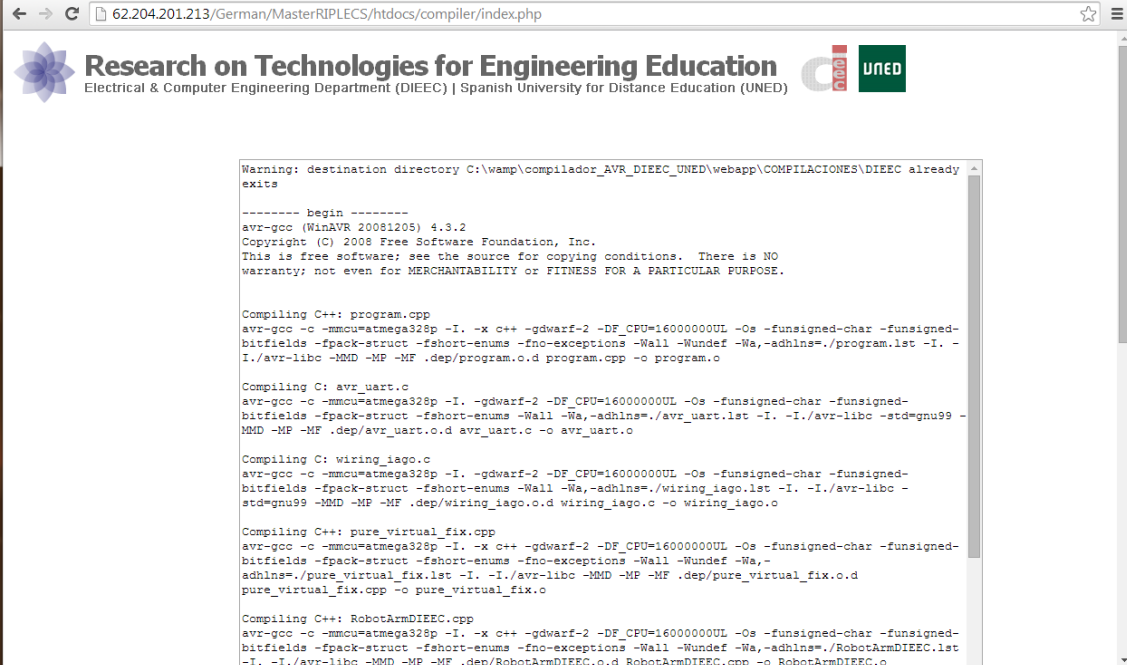


Figura 6.5. Pantalla de compilación del archivo en pleno proceso de carga.



The screenshot shows a web browser window with the address bar displaying "62.204.201.213/German/MasterRIPLECS/htdocs/compiler/index.php". The page header includes the logo of "Research on Technologies for Engineering Education" and the text "Electrical & Computer Engineering Department (DIEEC) | Spanish University for Distance Education (UNED)". The main content is a terminal window showing the output of an AVR compiler. The output starts with a warning about the destination directory, followed by the AVR-GCC version (4.3.2) and copyright information. It then shows the compilation of several C++ files: program.cpp, avr_uart.c, wiring_iago.c, pure_virtual_fix.cpp, and RobotArmDIEEC.cpp. Each compilation step lists the compiler options used, such as -mmcu=atmega328p, -gdwarf-2, and various optimization and linker flags.

Figura 6.6. Pantalla de información sobre compilación.

Por motivos de seguridad se han desarrollado unas librerías específicas que se integran en compilación con el código fuente y sustituyen a las de Arduino, actuando directamente sobre el microcontrolador ATmega328, y que cuentan con un temporizador variable que permite ajustar el tiempo durante el que un usuario puede utilizar el brazo y cuya función es activar una opción de “Reset” que devuelve al brazo robotizado a su posición original. Eso permite dejar disponible de nuevo el brazo para el siguiente alumno que acceda al sistema.

De la misma forma esas mismas librerías implementan unas funciones similares a las que utiliza SiLaRR para el control del C-9895 con limitaciones de seguridad, que restringen el valor de movimiento disponible en cada motor del brazo robotizado.

6.1.3. Trabajos de Fin de Máster, Proyectos Fin de Carrera y Doctorados del DIEEC

El objetivo de SiLaRR es iniciar el desarrollo de un sistema modular, flexible y adaptable que se vaya enriqueciendo con aportaciones externas. Una de esas aportaciones externas son precisamente los Trabajos de Fin de Máster, Proyectos Fin de Carrera u otros Doctorados.

Mientras se estaba desarrollando SiLaRR se dio la oportunidad de utilizar parte del sistema para complementar la propuesta de investigación de un Trabajo de Fin de Máster, iniciado en 2013, del Máster en Investigación en Ingeniería Eléctrica Electrónica y Control Industrial.

La implementación de los módulos de SiLaRR del “Bípedo” y del “Robot con ruedas” utilizando un Arduino Mega nacieron de ese trabajo que lleva por título “Robótica basada en FPGA con fines educativos” de Pedro Plaza, [253].

Dado que el núcleo de dicho trabajo era precisamente el uso de una FPGA con equipos robotizados, se planteó agilizar la integración de los equipos robotizados utilizando SiLaRR. Eso permitió al autor centrarse en la FPGA y utilizar los equipos robotizados con un considerable ahorro de tiempo.

En esas mismas pruebas se utilizó el Bluetooth como protocolo de comunicaciones mediante un sistema maestro-esclavo y emulación de puerto COM con resultados idénticos a los del puerto serie, pero con la ventaja añadida de no tener que utilizar cables en el proceso de comunicación.

Como se ha indicado SiLaRR se utilizó en dos equipos. El primer equipo robotizado era un robot Bípedo Kondo KHR-1HV (Figura 6.7), al que se le asignaron cinco variantes de movimientos predefinidos. También se integró una cámara con SiLaRR.

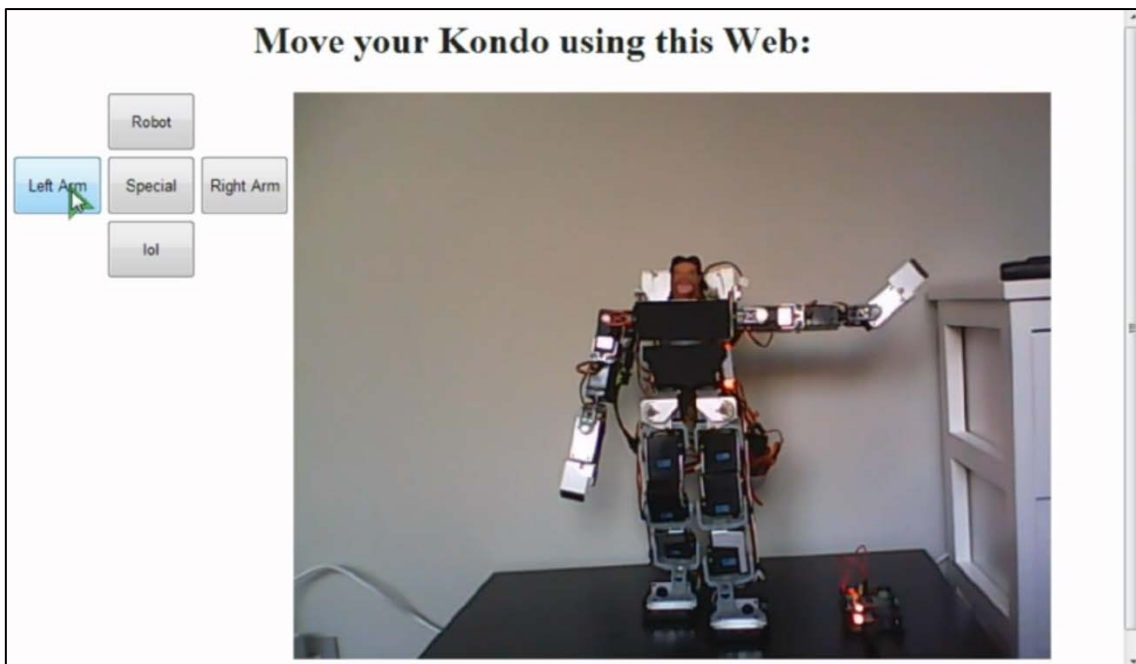


Figura 6.7. Uso de SiLaRR para integrar el bípedo Kondo KHR-1HV.

El segundo equipo robotizado era un robot de ruedas construido con un kit de robótica básico. En este caso se añadió una segunda cámara al sistema pero se mantuvo la integración únicamente de la principal, para facilitar el efecto de visualización en primera persona (Figura 6.8) dentro de la web de control. En este caso se establecieron los movimientos en las cuatro direcciones básicas (delante, atrás, derecha e izquierda), y un movimiento predefinido especial.

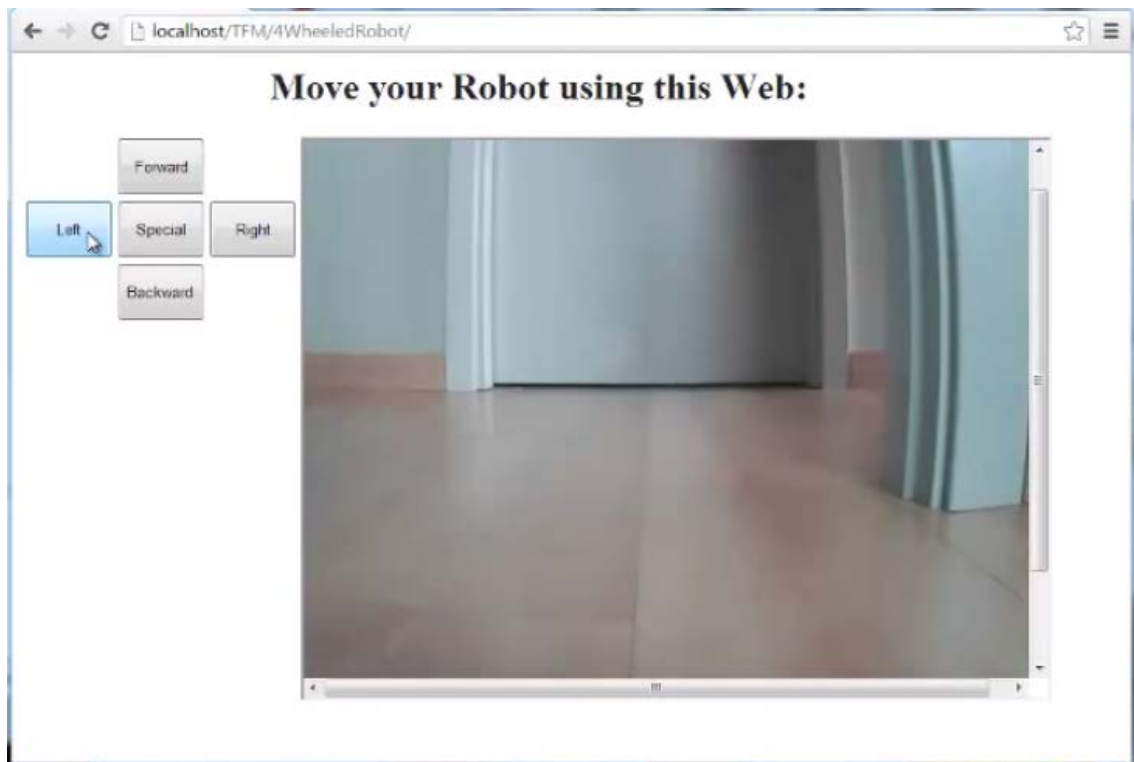


Figura 6.8. Uso de SiLaRR para integrar un robot de ruedas en un sistema de dos cámaras, en primera y en tercera persona.

Con ambos equipos robotizados y el uso de SiLaRR para integrarlos en el sistema, Pedro Plaza se convirtió, con este trabajo, en la primera persona en aportar un módulo nuevo a SiLaRR, si bien usando un Arduino Mega, no deja por ello de ser una aportación importante ya que, dado que el objetivo de SiLaRR es seguir evolucionando, el Arduino UNO R3 no será el único dispositivo disponible como hardware. Tener dos módulos para Arduino Mega convierte, a esta variante, en la candidata perfecta para el próximo módulo de hardware.

La experiencia acumulada durante estas pruebas de integración enriqueció en gran medida las opciones y características que en ese momento se estaban desarrollando para SiLaRR.

Actualmente Pedro Plaza está cursando su doctorado con el título provisional de “Laboratorio Dual de Robótica Educativa” y continúa utilizando algunas de las herramientas y servicios mostrados en SiLaRR y se espera que sus aportaciones en la

investigación con FPGAs puedan incorporarse al sistema cuando finalice su investigación.

Por otro lado el alumno Carlos Cano está realizando su Trabajo de Fin de Máster con título “Investigación en sensores para robots basado en Arduino”, con el objetivo de utilizar su investigación para articular nuevos módulos para SiLaRR. Dada la importancia de los sensores en los equipos robotizados, y su utilidad en redes robotizadas, [254], su aportación puede suponer un avance importante hacia desarrollos de robots autónomos, [255], con SiLaRR.

También en esa línea, a través de un Proyecto Fin de Carrera, el alumno Daniel Cancelo trabaja en el “Diseño y desarrollo de sistema de Visión artificial para Arduino”, que también podría aumentar las herramientas o utilidades disponibles de SiLaRR. El objetivo es, también, continuar incrementando las posibilidades educativas que proporciona el propio portal del DIEEC en la medida de lo posible, [256].

Otros Doctorados, Proyectos Fin de Carrera y Trabajos de Fin de Máster, podrían albergar desarrollos o herramientas que enriquecerían SiLaRR, o que actuaran como complementarios al sistema.

6.2. Entornos generalistas

La flexibilidad del sistema se pretendió desde el principio, pero solo cuando surgió la oportunidad de probarla permitió conocer cuáles eran las posibilidades que SiLaRR podía ofrecer.

Si bien los equipos robotizados eran la clave del desarrollo inicial de SiLaRR, las experiencias citadas y la opción de participar en nuevos proyectos permitieron avanzar de manera definitiva hacia la creación de un nuevo módulo que se convirtió, por sí mismo en el primer laboratorio integrado que no era de robótica.

6.2.1. Proyecto Go-Lab

El proyecto Go-Lab Global Online Science Labs for Inquiry Learning at School, [257], con identificativo FP7-ICT-2011-8, financiado con 13.000.000,00 € por el Programa FP7 (acción de investigación), de la Unión Europea y en que participan: Univ. Twente, Ellinoger Agogi Scholi, École Polytech Fédérale de Lausanne, European Schoolnet, Imc. Infor. Mult. Comm. AG, MENON EEIG Network, Dept. de Ing. Eléct. Electrónica y Control UNED, Univ. Leicester, Univ. Cyprus, Univ. Duisburg-Essen, Cent. Research and Tech. Hellas, Univ de Deusto, Carinthia Univ. Applied Science Fachhochschule Kannten Gmainnutzige Privat, Univ. Tartu, European Organ for Nuclear Research CERN, European Space Agency ESA, Univ. Glamorgan, The Inst. Accel. Systems and Appl. IASA y NUCLIO con más de 100 investigadores, tiene como objetivo facilitar e integrar nuevos sistemas educativos que utilicen diferentes herramientas tecnológicas y entre ellas los laboratorios remotos y virtuales.

SiLaRR llegó a este proyecto en marzo de 2013 por la necesidad de desarrollar laboratorios útiles para una audiencia escolar de entre 8 y 18 años. Tras evaluar algunas

de las opciones disponibles y dado que inicialmente no se había planteado el uso de laboratorios de robótica, el reto fue integrar un laboratorio que no contaba con las especificaciones para las que SiLaRR estaba siendo desarrollado.

Con esa problemática en mente nació “El color de la luz”, [258], el laboratorio del LED RGB (Figura 6.9), que se convirtió en el primer módulo de SiLaRR de laboratorios que no buscaban integrar equipos robotizados. Además había una diferencia importante, este laboratorio debía de contar también con un laboratorio virtual.

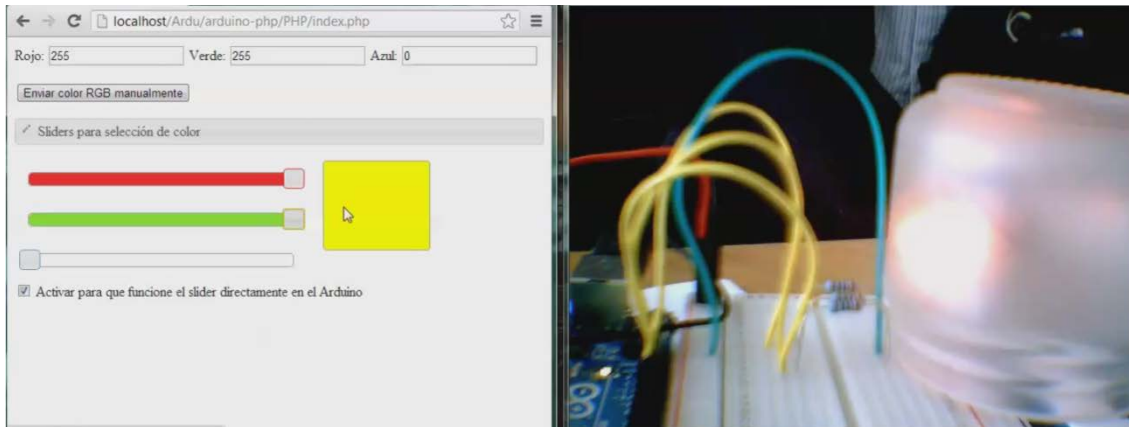


Figura 6.9. Laboratorio “El color de la luz”, con el LED RGB, el primer módulo no robotizado de SiLaRR.

Este laboratorio posee unas barras deslizantes que representan al color rojo, verde y azul, que por un lado permiten observar; en una simulación virtual; el código de color que se está enviando en tiempo real al LED RGB que constituye el laboratorio físico. También dispone de la opción de indicar el código de color y enviarlo directamente al LED RGB a través del Arduino. La diferencia entre las barras deslizantes y el botón radica en que las barras deslizantes envían en tiempo real las múltiples combinaciones de color existentes mientras se usan, y el botón envía de una sola vez el código compuesto de color introducido en las respectivas cajas de texto de la parte superior.

Si bien cada profesor puede decidir cómo utilizar este laboratorio en sus clases, algunas de las opciones didácticas pueden ser:

- Formación de la visión humana: ¿cuál es el mecanismo que causa que el cerebro muestre una imagen cuando la luz estimula el nervio óptico?
- La física del color: ¿cómo es posible que las personas puedan ver unos colores y no otros?, ¿qué frecuencias son perceptibles?, ¿cómo perciben los colores animales e insectos?
- Colores primarios: ¿qué son los colores primarios y cómo su combinación puede generar otros colores?, ¿hay diferentes tipos de combinaciones?
- Representación de los colores: ¿cómo se muestran los colores en el mundo real, en formato digital, en un TV, en un lienzo, en un papel, etc.?

- Efecto del color en el cerebro: ¿por qué ciertos colores provocan determinadas reacciones en el observador?, ¿qué mecanismos articulan estas reacciones en el cerebro?, ¿por qué a unas personas les gustan unos colores y a otras otros?
- Enfermedades como el daltonismo: ¿qué es el daltonismo?, ¿qué supone para el día a día de una persona?, ¿hay otras enfermedades relacionadas con la percepción y los colores?

Si bien este módulo se desarrolló, implementó e integró en SiLaRR, también se ha integrado en el portal Graasp, [259], que es el lugar de referencia del proyecto Go-Lab para compartir recursos y servicios (Figura 6.10). Si bien, para ello, hubo que separar el servicio de control del laboratorio del servicio de la cámara.

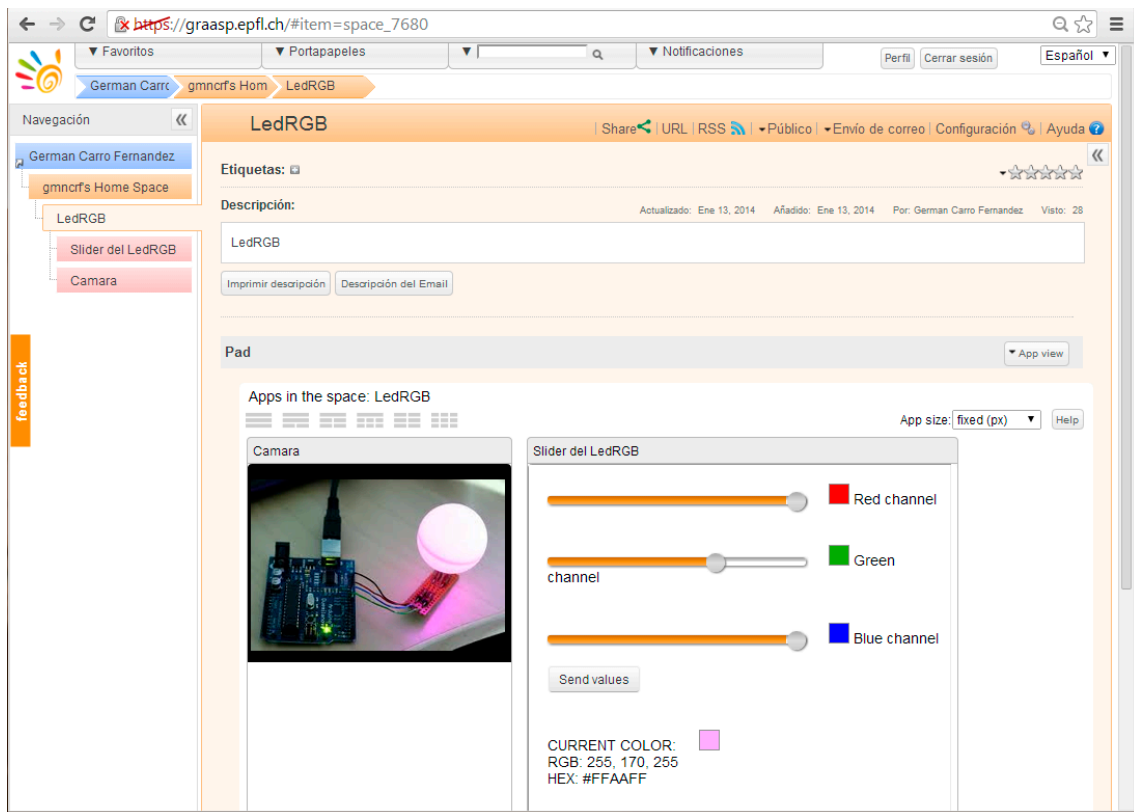


Figura 6.10. Integración del laboratorio de SiLaRR “El color de la luz” en el entorno de Graasp en Go-Lab.

Posteriormente y en diciembre de 2013, responsables del proyecto Go-Lab conocieron de primera mano el laboratorio del brazo robotizado de SiLaRR. Por sus características solicitaron que se integrara también en Graasp pero para ello se tuvieron que realizar algunos cambios en su estructura.

El módulo del brazo robotizado en SiLaRR constituye un todo integrado que se muestra en una sola página web, pero la filosofía de Go-Lab necesitaba disponer de los diferentes servicios por separado. Eso permitió desarrollar nuevas utilidades en tres fases:

- Despliegue de los servicios siguiendo la pauta del laboratorio “El color de la luz”, por un lado la cámara y por otro el servicio de control (Figura 6.11).

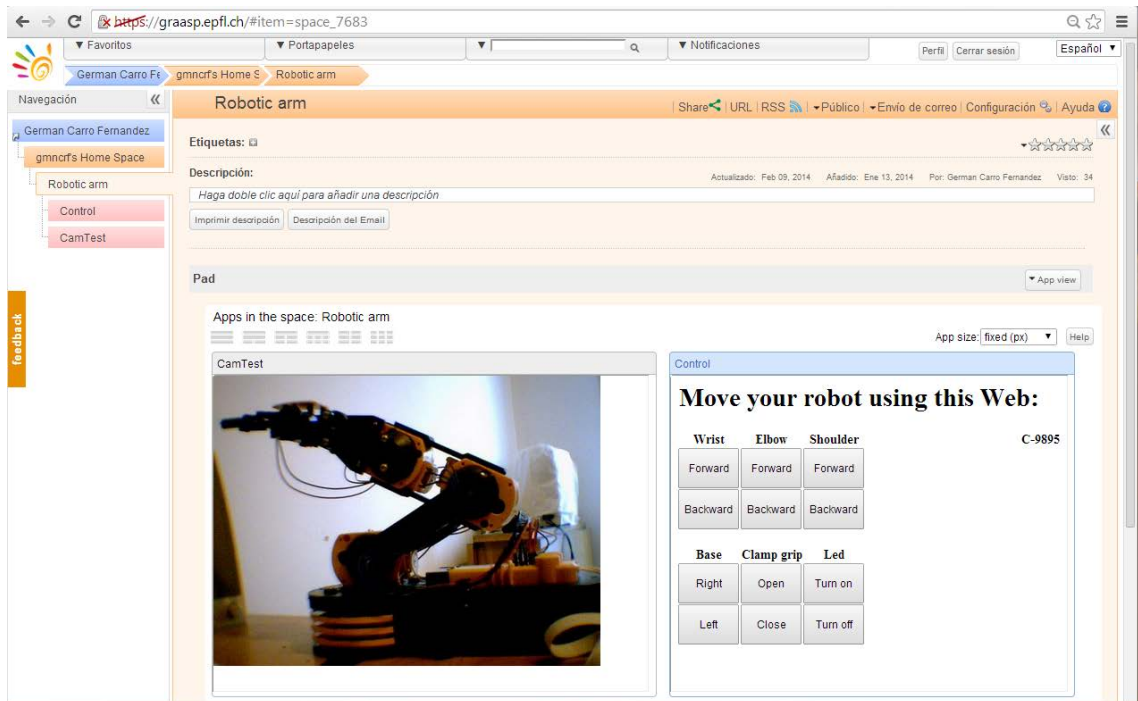


Figura 6.11. Integración del laboratorio de SiLaRR del brazo robotizado en el entorno de Graasp en Go-Lab.

- Reutilización del estilo utilizado en el laboratorio “El color de la luz”. Eso requería sustituir los botones de control por las respectivas barras de desplazamiento vinculadas a esos servicios. Eso permitía reutilizar un elemento que ya se había integrado en Graasp (Figura 6.12).

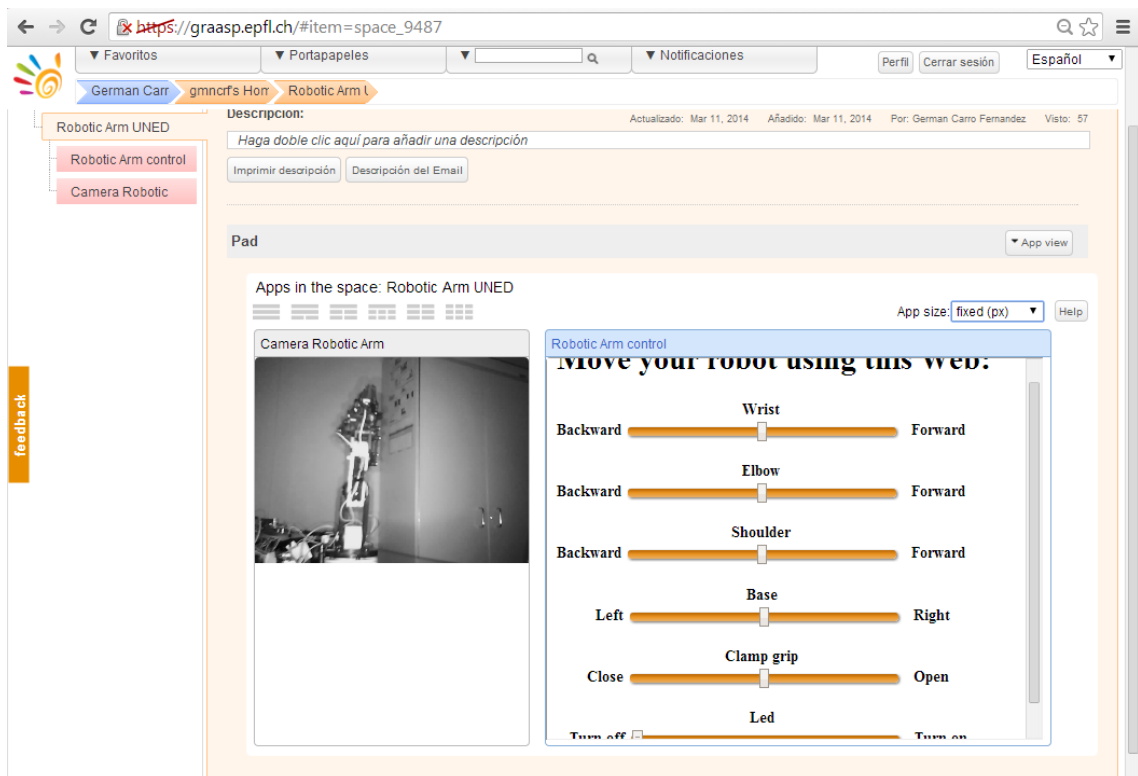


Figura 6.12. Integración del laboratorio de SiLaRR del brazo robotizado en el entorno de Graasp en Go-Lab con barras deslizantes.

- Por último el sistema requería que todos los servicios se individualizaran. Para ello se decidió separar cada uno de ellos y asignarles su propio diseño sin perder la utilidad de los mismos (Figura 6.13).

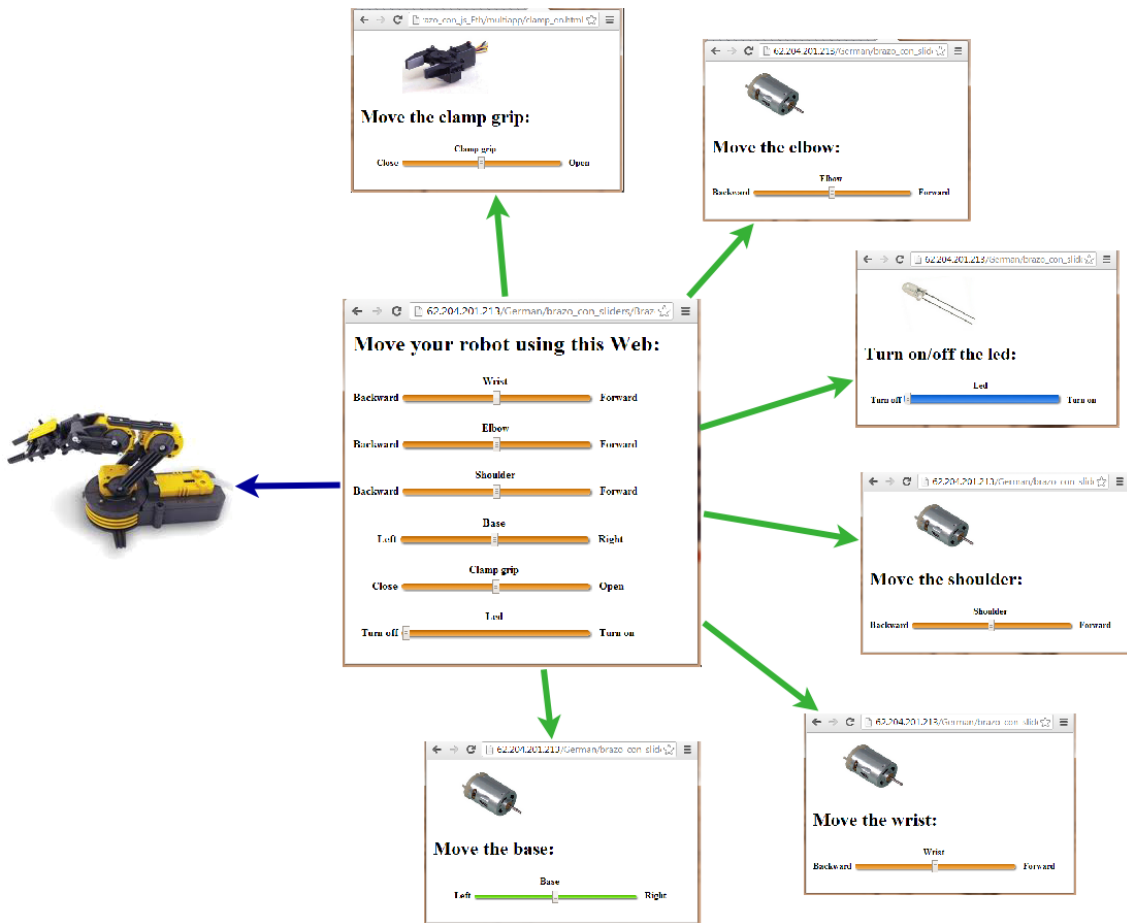


Figura 6.13. Proceso de separación e individualización de servicios para la integración del laboratorio de SiLaRR del brazo robotizado en el entorno de Graasp en Go-Lab.

Finalmente se procedió a realizar la nueva integración en el entorno Graasp de manera definitiva (Figura 6.14) ya con todos los servicios disponibles. De esta manera cualquier usuario de Graasp puede llevar a su espacio de Graasp solo los servicios que desee, y éstos funcionarán sin problema. Evidentemente es recomendable que uno de los servicios que se seleccionen sea siempre el de la cámara, porque si no, el usuario no verá cómo se mueve el brazo o como se ilumina el LED cuando utilice esos servicios.

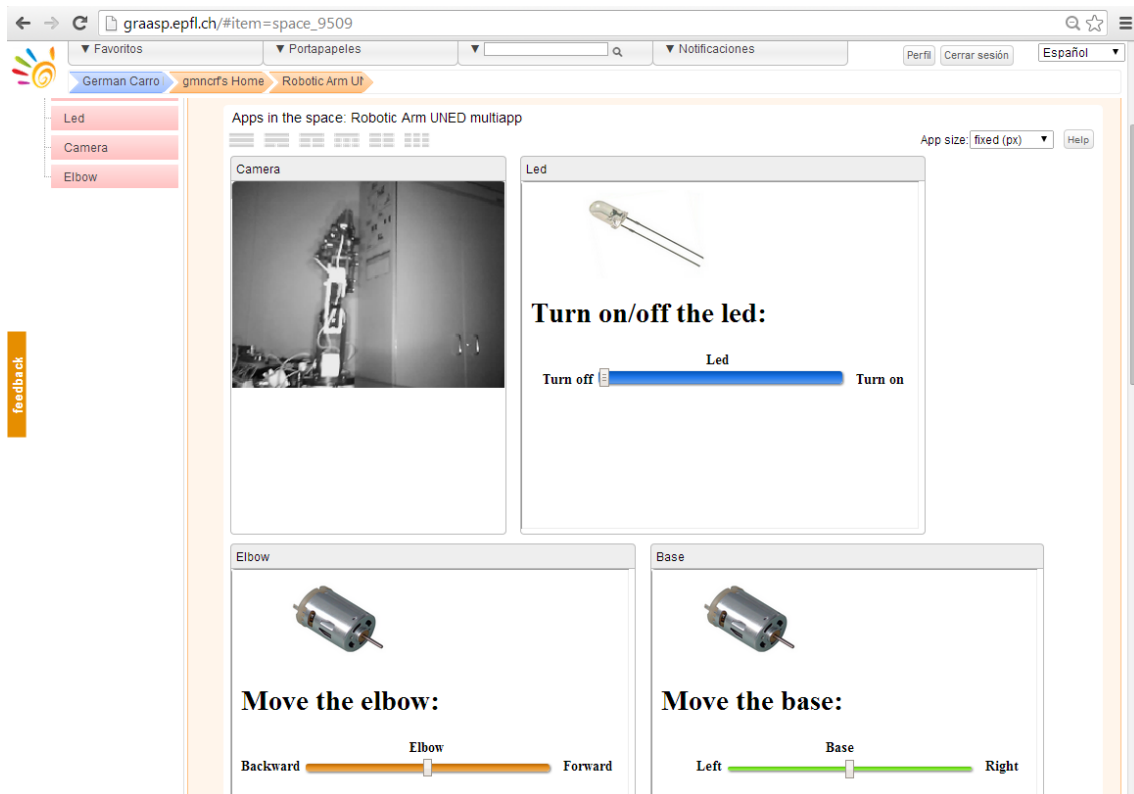


Figura 6.14. Integración en Graasp con los servicios del brazo robotizado individualizados.

Con esta nueva versión se desarrolló e implementó un sistema de comunicación con el laboratorio utilizando el formato JSON para cada uno de los servicios desplegados (Figura 6.15).

```

{
  "$schema": "http://json-schema.org/draft-04/schema#",
  "organization": "DIEEC at UNED",
  "author": "German Carro Fernandez",
  "version": "1.0",
  "type_of_lab": "Robotic Arm",
  "title": "Actuator",
  "description": "Actuator of robotic Arm (Wrist)",
  "type": "movement",
  "properties": {
    "forward": {
      "description": "Movement to forward",
      "type": "string",
      "value": "0001"
    },
    "backward": {
      "description": "Movement to backward",
      "type": "string",
      "value": "0002"
    }
  },
  "final_value": "0001"
}

```

Figura 6.15. Archivo wrist.json que gestiona la información del servicio que controla el movimiento de la muñeca del brazo robotizado en el entorno de Graasp en Go-Lab.

Finalmente y al igual que en el laboratorio del LED RGB, se sugieren diferentes utilidades didácticas de este laboratorio:

- Mecatrónica: importancia de la mecatrónica en la industria
- Robótica: historia de la robótica desde Herón de Alejandría (siglo I) o los “karakuri” japoneses, [260], [261], hasta Isaac Asimov, pasando por Karel Capek o el caballero mecánico de Leonardo da Vinci, [24], y otros de sus autómatas, [262], los autómatas del s. XVIII, etcétera.
- Física: explicación del uso de poleas y engranajes para mover elementos utilizando la física.
- Electrónica: importancia de la electrónica y microelectrónica en los robots actuales.
- Fisiología: copia del cuerpo humano. Robots antropomorfos. ¿Por qué y cómo?
- Seguridad y vigilancia: drones, robots de vigilancia y el debate sobre su uso.
- Robots para medicina: ¿cómo, un doctor, puede controlar un brazo robotizado en cirugía? Sistema Da Vinci, [263].
- Películas y literatura de ciencia ficción: diferentes aproximaciones a la robótica en películas y literatura

Actualmente se siguen realizando mejoras en los citados laboratorios ya que han sido seleccionados como laboratorios remotos para poner a disposición de los colegios, dentro de los 13 laboratorios principales del proyecto Go-Lab.

6.2.2. Colegios y otras instituciones educativas

Por otro lado SiLaRR ya ha sido probado a lo largo de este trabajo en un colegio, concretamente en el Colegio Karbo, [264], de A Coruña de la mano de su director Ramón Carrasco.

En el citado centro educativo se han realizado las pruebas de uso que se analizan en esta tesis doctoral. En concreto las pruebas de uso de laboratorio se hicieron en el laboratorio del LED RGB y al del brazo robotizado. Ambos junto con espacios de aprendizaje similares a los mostrados anteriormente fueron utilizados por profesores para impartir clase a alumnos de entre 6 a 18 años, incrementando la dificultad de la materia según las edades y diseñando entornos de aprendizaje adecuados que tenían a los respectivos laboratorios como una herramienta más, en este caso orientada a la práctica real de la teoría vista en las clases, previamente, o en paralelo.

El Colegio Karbo es uno de los centros educativos seleccionados también por el proyecto Go-Lab para sus pruebas de uso de los laboratorios previamente seleccionados, pero además ha participado también en acciones de divulgación a través del proyecto

TechnoMuseum previamente citado y, actualmente, también participa en un proyecto ERASMUS+ dirigido por el doctor Javier García de la Universidad de Deusto.

De la misma forma, otro centro educativo, en este caso el I. E. S. Ramiro de Maeztu, [265], de Madrid, y de la mano de Manuel Blázquez, se ha solicitado la creación de un espacio educativo en el que se utiliza el brazo robotizado como herramienta de prácticas en un temario relacionado con la tecnología.

En ambos casos los entornos de aprendizaje constituyen un pilar fundamental del uso correcto de los laboratorios para asignaturas de contenido tecnológico en la escuela primaria o secundaria, [266]. En general el uso de laboratorios remotos facilita la colaboración y participación de los propios estudiantes en la materia a impartir, [267], enriqueciendo así la información para mejorar los propios laboratorios, pero cuando introducimos equipos robotizados, también se activa un elemento de motivación en los propios estudiantes, [268], que incentiva el aprendizaje como algo lúdico y que actualmente debería considerarse como parte del currículum formativo habitual, [269].

De ambos trabajos de campo se está recopilando información directa que permitirá continuar mejorando SiLaRR e incluir escenarios de aprendizaje personalizados en los laboratorios existentes o que se incorporen al sistema.

6.2.3. Internet de las cosas: diseño, implementación e integración de dispositivos

Dado que SiLaRR utiliza para desplegar su sistema una herramienta de hardware libre, el objetivo es incrementar los módulos del sistema con nuevas herramientas como Raspberry Pi y BeagleBone. Desde el Departamento de Ingeniería Eléctrica, Electrónica y de Control de la Escuela Técnica Superior de Ingenieros Industriales de la UNED y de la mano del doctor Elio Sancristobal, se planteó el utilizar parte del sistema en un curso de Experto Profesional que se va a impartir en la UNED a partir de Noviembre de 2014.

El citado curso, que lleva por título “Internet de las cosas: diseño, implementación e integración de dispositivos” y que se impartirá desde la plataforma virtual de “Cursos de Especialización, Capacitación y Máster para la Formación de Profesionales”, [270], utilizará los laboratorios creados para SiLaRR para demostrar las posibilidades que Arduino ofrece en las áreas de la conectividad y del Internet de las cosas, [271].

Para matricularse en el citado curso no se requiere estar en posesión de ningún título universitario aunque es conveniente que se posean conocimientos previos relacionados con la ingeniería o las ciencias. Y los destinatarios del mismo son aquellas personas que deseen aprender y profundizar en el campo del Internet de las cosas. Pequeños dispositivos capaces de conectarse a la web, autogestionarse y controlar a otros dispositivos mediante programación y conocimientos sobre las características de su hardware.

La idea original de Internet de las cosas se propone como tal en 1999, [272], si bien ya en 1991, dicho concepto, se discute en un artículo la revista Scientific American. [273], que posteriormente se publica de nuevo en un número especial dedicado a su

autor Mark Weiser por la *Mobile Computing and Communications Review*, [274], y en su origen tenía como objetivo controlar productos cotidianos para facilitar la distribución comercial de los mismos y evitar su pérdida o robo. Para ello se planteó reutilizar diferentes sistemas de comunicaciones que integrados en el objeto o mercancía permitieran seguir su recorrido en todo momento. Los códigos QR o las etiquetas RFID son ejemplos de herramientas integradas de este tipo.

Actualmente el concepto se ha generalizado y engloba también algunos aspectos relacionados con el control de datos en general, procedentes de objetos de uso diario, así como algunos aspectos de control relacionados con la domótica o incluso la seguridad.

Desde su acepción tecnológica todo aquello que permita volcar o descargar datos de manera remota a través de una red de comunicaciones es susceptible de ser utilizado como herramienta para la enseñanza en general pero más aún cuando hablamos de la enseñanza a distancia, ya que en ella se utiliza diariamente dicha perspectiva de una manera habitual.

En los laboratorios remotos, tradicionalmente, se ha utilizado el recurso del repositorio de datos de los que el alumno recibía la información, la mayoría de las veces en “diferido” (cuando el evento ya había sucedido). Otra alternativa era la descarga de datos mediante el procesamiento por lotes, es decir de golpe como en una batería o cascada de información que el usuario solo recibía pero con los que no podía interactuar.

El concepto del Internet de las cosas permite interactuar con los dispositivos o el equipo robotizado del laboratorio mediante el uso de las herramientas ya citadas y de hardware específico como Arduino, BeagleBone, Raspberry Pi, PCduino y similares, que en algunos casos incluso permiten aprovechar la posibilidad de alojar servidores integrados en el mismo para realizar tareas en tiempo real. En definitiva el concepto del Internet de las cosas permite una mayor interacción del usuario con el laboratorio remoto, mejorando y enriqueciendo su experiencia de uso. El alumno podrá, con este curso, adquirir de primera mano, los conocimientos técnicos para trabajar con estos tipos de dispositivos.

6.3. Análisis de datos y de uso del sistema

Cuando se inició el desarrollo de SiLaRR no estaba previsto que se diera la oportunidad de utilizarlo antes de finalizar su implementación. Los casos y oportunidades ya citadas fueron una fuente inagotable de datos que ayudaron a corregir errores, implementar nuevos módulos, añadir servicios útiles, depurar el código fuente, y sobre todo realizar pruebas de campo con perfiles de usuarios diferentes.

Al contar con un desarrollo con una implementación completa, se planteó el análisis de SiLaRR desde diferentes perspectivas para valorar así las aportaciones del sistema enunciadas al principio de esta tesis doctoral, y analizadas a lo largo de la misma. Dado que el objetivo principal de SiLaRR es su uso masivo, el enfoque del análisis se realizó fundamentalmente en el punto de vista de los usuarios, tanto administradores, como tutores y alumnos.

Las pruebas descritas y los análisis obtenidos se realizaron y recopilaron a lo largo de los meses de octubre, noviembre y diciembre de 2013 en el Colegio Karbo, gracias una vez más a la ayuda del director del mismo, Ramón Carrasco. La muestra utilizada fue de 197 alumnos con edades comprendidas entre los 5 a los 18 años, 33 profesores, 8 administradores, y un total de 16 aulas agrupadas por edades. Para el análisis de estadístico se ha utilizado el método tradicional de preguntas iterativas para analizar y depurar los resultados de la experiencia, [1].

6.3.1. Experiencia de administradores

Ya en los primeros capítulos de esta tesis doctoral se analizaron las características de otros productos existentes en el mercado. Para esta prueba se seleccionó a los usuarios administradores con una cierta formación tecnológica en uso de software de gestión y una mínima formación en hardware y electrónica. Teniendo eso en cuenta el enfoque de análisis de cara a los usuarios administradores consistió en presentarles los dos sistemas comerciales más utilizados MatLab y LabVIEW junto con una placa Arduino UNO R3 y el brazo robotizado, y permitirles hacer pruebas de integración. Posteriormente se les ofreció SiLaRR para proceder a la misma prueba de integración. Si bien alguno de los administradores de la prueba ya conocía ambas plataformas comerciales, ninguno de ellos tenía experiencia con su uso. De la misma forma ninguno de ellos conocía SiLaRR ni su funcionalidad.

Para estas pruebas se diseñó una batería de preguntas que primero buscaba establecer el conocimiento de los usuarios sobre las plataformas de integración de hardware de laboratorios existentes en el mercado. En este caso las preguntas se realizaron antes de mostrar a los usuarios ninguna herramienta.

En segundo lugar se buscaba conocer que opinión les merecía SiLaRR en lo que respecta a facilidad de instalación, de uso y de configuración frente a las otras dos plataformas. En este segundo caso se impartió a los usuarios tres sesiones de una hora cada una en las que se les explicó cada uno de los tres sistemas de manera resumida centrando dicha explicación en el uso de los módulos de Arduino de cada uno de ellos.

Después de dichas sesiones se les permitió proceder a las pruebas de integración utilizando versiones educativas de LabVIEW y MatLab y la versión de prueba de SiLaRR con licencia GPLv3 y un Arduino UNO R3 con todo el hardware del laboratorio del brazo robotizado previamente conectado.

Las preguntas y sus baremos de respuesta se presentan a continuación:

- Conocimientos previos de los sistemas de integración de hardware y opinión frente a la posibilidad de probar uno nuevo:
 - ¿Conoce y ha utilizado MatLab previamente?
Baremo de respuesta:
 - ✓ 0: No me suena de nada.
 - ✓ 1: Me suena pero nunca lo he visto.
 - ✓ 2: Me suena y lo he visto alguna vez pero nunca lo he usado.
 - ✓ 3: Me suena y lo he usado alguna vez.

- ✓ 4: Lo conozco y lo he usado.
 - ✓ 5: Lo conozco mucho.
- ¿Conoce y ha utilizado LabVIEW previamente?
Baremo de respuesta:
 - ✓ 0: No me suena de nada.
 - ✓ 1: Me suena pero nunca lo he visto.
 - ✓ 2: Me suena y lo he visto alguna vez pero nunca lo he usado.
 - ✓ 3: Me suena y lo he usado alguna vez.
 - ✓ 4: Lo conozco y lo he usado.
 - ✓ 5: Lo conozco mucho.
 - ¿Le gustaría probar un nuevo sistema o prefiere los anteriores?
Baremo de respuesta:
 - ✓ 0: No creo que valga la pena, todos son demasiado complejos.
 - ✓ 1: Depende de su dificultad.
 - ✓ 2: Sí, pero no creo que lo pueda utilizar.
 - ✓ 3: Sí, quizás me resulte más fácil de usar.
 - ✓ 4: Sí, seguro que es más amigable.
 - ✓ 5: Por supuesto que sí, sin dudar.
- Resultados posteriores al uso de SiLaRR en comparación con MatLab y LabVIEW:
- Ahora que ya ha probado los tres sistemas ¿podría indicar cuánto tiempo le ha llevado integrar el Arduino UNO R3 en cada plataforma?, indique la respuesta para MatLab, LabVIEW y SiLaRR:
 - ✓ 0: Más de 45 minutos.
 - ✓ 1: Entre 35 y 45 minutos.
 - ✓ 2: Entre 25 y 35 minutos.
 - ✓ 3: Entre 15 y 25 minutos.
 - ✓ 4: Entre 5 y 15 minutos.
 - ✓ 5: Menos de 5 minutos.
 - Ahora que ya ha integrado el Arduino UNO R3, ¿podría indicar si en una hora de tiempo ha podido configurar el laboratorio del brazo robotizado en cada plataforma?:
 - ✓ 0: No lo he conseguido, necesito más formación en la plataforma.
 - ✓ 1: Solo he conseguido enviar datos al Arduino pero no hace nada.
 - ✓ 2: Solo he conseguido hacer que se encienda el LED del brazo robotizado.
 - ✓ 3: He conseguido que se mueva uno de los motores y que se encienda el led, con más tiempo podría integrarlo.
 - ✓ 4: He integrado completamente el laboratorio.
 - ✓ 5: El proceso de integración ha sido automático por el propio sistema.
 - Después de las pruebas realizadas indique cuál de los tres sistemas prefiere valorándolos de 0 a 5, siendo cero “este no lo quiero de ninguna manera” y cinco “este es el que utilizaría”.

Los resultados mostrados en la Tabla 6.1 reflejan el nivel de conocimiento previo respecto a cada uno de los sistemas analizados. De los usuarios preguntados se aprecia como ambos sistemas son conocidos casi por igual con un 62,50% en ambos casos (niveles del 2 al 5), si bien el que parece tener un mayor uso o al menos del que se desprende que existe un mayor conocimiento es de LabVIEW, un 37,50% frente a un 12,50% de MatLab (niveles 3 al 5), posiblemente motivado porque, como se indicó en los capítulos iniciales de esta tesis doctoral, MatLab tenía inicialmente una filosofía más volcada en la programación que en la integración de hardware.

| Valoración | ¿Conoce y ha utilizado MatLab previamente? | ¿Conoce y ha utilizado LabVIEW previamente? | ¿Le gustaría probar un nuevo sistema o prefiere los anteriores? |
|------------|--|---|---|
| 0 | 25,00% | 0,00% | 0,00% |
| 1 | 12,50% | 37,50% | 12,50% |
| 2 | 50,00% | 25,00% | 12,50% |
| 3 | 12,50% | 25,00% | 25,00% |
| 4 | 0,00% | 12,50% | 37,50% |
| 5 | 0,00% | 0,00% | 12,50% |

Tabla 6.1. Preguntas previas a las pruebas de uso.

La Figura 6.16 permite visualizar de una manera más clara los resultados de este análisis. En ella se aprecia cómo el 50% de los usuarios nunca han usado MatLab, pero también se muestra como existe un 37,50% de ellos que nunca han visto LabVIEW. La complejidad de dichas plataformas, así como su curva de aprendizaje, como ya se analizó previamente en esta tesis doctoral, se muestran como las causas principales de estos datos. Solo hay que detenerse en la tercera pregunta que ofrece la opción de probar un nuevo sistema y ver como el 87,50% de los usuarios (niveles del 2 al 5) sí quieren probarlo, y de ellos un 75% (niveles del 3 al 5) muestran una expectativa de uso positiva.

Estos datos reflejan un interés de los usuarios en conocer e integrar hardware, con sistemas de gestión del mismo, que permitan utilizar los equipos robotizados como una herramienta más dentro del itinerario de aprendizaje, si bien el aspecto que hace que esto no se generalice es la percepción de dificultad en el uso de las herramientas existentes. Por ello no solo no se reduce el interés de probar nuevos sistemas, sino que se percibe esa opción como una nueva posibilidad de conocer alguna suite comercial que facilite esa integración. A lo largo de esta tesis doctoral se han descrito las razones que pueden convertir a SiLaRR en esa nueva herramienta.

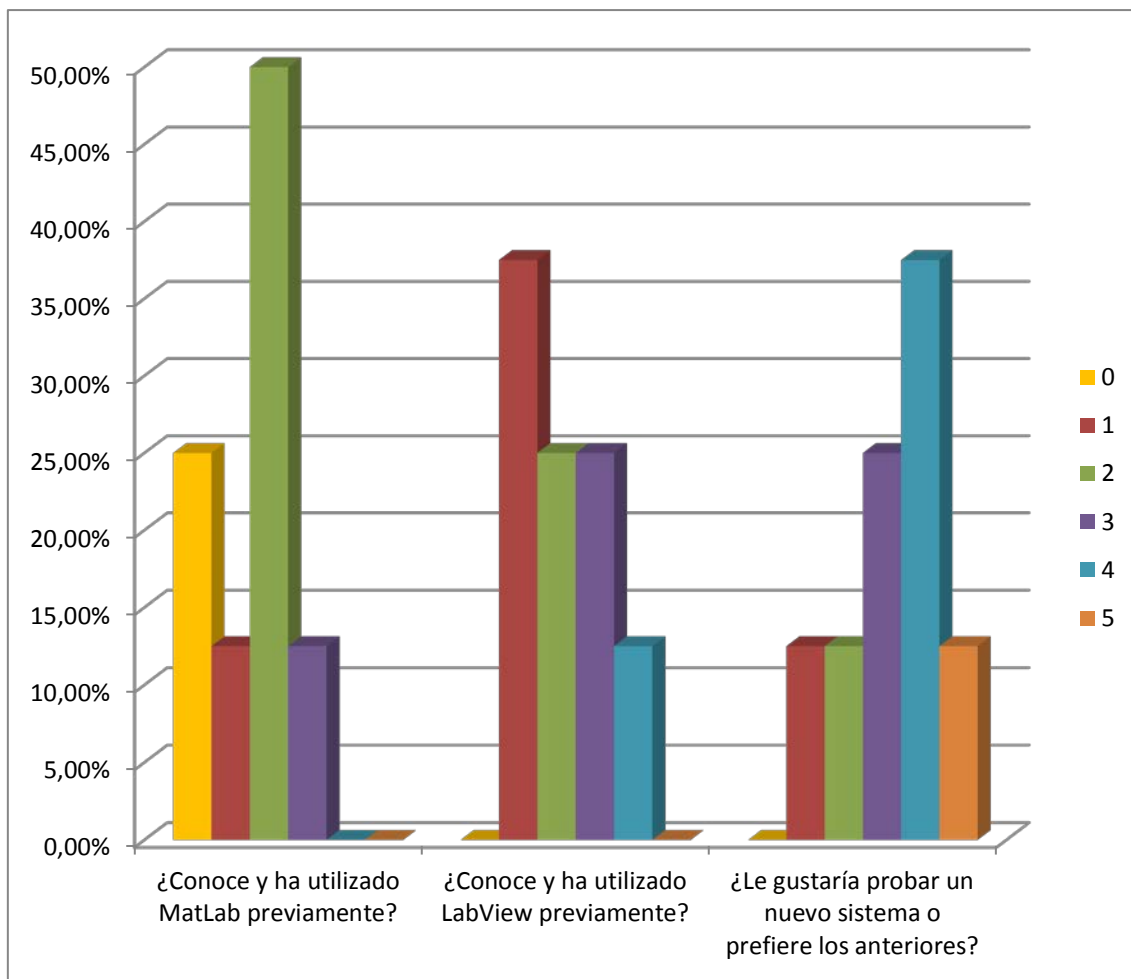


Figura 6.16. Gráfica de análisis de datos de la Tabla 6.1.

Una vez realizadas las pertinentes sesiones de formación sobre los tres sistemas y tras proceder al uso de los mismos, se realizaron las preguntas relativas al resultado final que se reflejan en la Tabla 6.2. Los resultados de estas preguntas eran muy importantes porque la comparativa entre los sistemas ya citados y SiLaRR ayudaría a comprender la verdadera utilidad de este sistema para el usuario administrador final.

| Valoraciones | ¿Cuánto tiempo le ha llevado integrar el Arduino UNO R3 en MatLab? | ¿Cuánto tiempo le ha llevado integrar el Arduino UNO R3 en LabVIEW? | ¿Cuánto tiempo le ha llevado integrar el Arduino UNO R3 en SiLaRR? | ¿Ha podido, en una hora, configurar el laboratorio del brazo robotizado en MatLab? | ¿Ha podido, en una hora, configurar el laboratorio del brazo robotizado en LabVIEW? | ¿Ha podido, en una hora, configurar el laboratorio del brazo robotizado en SiLaRR? |
|--------------|--|---|--|--|---|--|
| 0 | 37,50% | 12,50% | 0,00% | 25,00% | 12,50% | 0,00% |
| 1 | 12,50% | 25,00% | 0,00% | 50,00% | 12,50% | 0,00% |
| 2 | 25,00% | 12,50% | 0,00% | 25,00% | 37,50% | 0,00% |
| 3 | 12,50% | 25,00% | 25,00% | 0,00% | 37,50% | 0,00% |
| 4 | 12,50% | 25,00% | 25,00% | 0,00% | 0,00% | 37,50% |
| 5 | 0,00% | 0,00% | 50,00% | 0,00% | 0,00% | 62,50% |

Tabla 6.2. Preguntas derivadas de las pruebas de uso.

Es necesario indicar que las opiniones recibidas por los usuarios durante el tiempo que duró la fase de formación y las posteriores pruebas de uso, enriquecieron y aportaron ideas y mejoras que posteriormente se implementaron en la versión final de SiLaRR.

Uno de los aspectos a destacar respecto a las preguntas relativas a la integración de Arduino UNO R3, es que los usuarios tenían en todo momento libertad absoluta para navegar por Internet y buscar la información relativa a dicho proceso. Podían consultar foros, blogs, enlaces, documentación propia de LabVIEW y MatLab, o vídeos y tutoriales, sin limitación. Es evidente que SiLaRR no posee esas herramientas, dado que todavía no tiene un uso que así lo requiera, pero se consideró que la hora de formación relativa a su instalación y a su uso sería suficiente para que los administradores pudieran utilizarlo sin problema.

Los porcentajes son clarificadores en este sentido ya que, como puede apreciarse el simple hecho de instalar Arduino UNO R3 en cada sistema llevó más de 35 minutos al 50% de los usuarios en MatLab y al 37,50% en LabVIEW (niveles del 0 al 1), mientras que utilizando SiLaRR la integración se completó en menos de 5 minutos por el 50% de los usuarios. Esta diferencia se explica por el sistema modular de SiLaRR que permite preconfigurar la instalación de Arduino UNO R3 como un módulo más del sistema, cosa que no ocurre ni con MatLab ni con LabVIEW que, al ser sistemas generalistas en su hardware, requieren la descarga e instalación previa de las librerías de configuración. Lo que en SiLaRR es simplemente pulsar un botón, en MatLab y LabVIEW requiere otros pasos previos para llegar a la integración del hardware.

En la Figura 6.17 se aprecia visualmente cual es la importancia de diseñar un sistema orientado a equipos robotizados utilizando una API de gestión inteligente (AGI) formada por un hardware específico y el software asociado, y el uso de sistemas generalistas en su hardware. Si bien ya en estas primeras preguntas se aprecia un desplazamiento hacia la derecha de las respuestas según nos acercamos a SiLaRR como herramienta, la diferencia se acentúa aún más cuando se evalúa la integración completa del laboratorio del brazo robotizado.

Para la configuración e integración del equipo robotizado los resultados muestran que ni con MatLab ni con LabVIEW se consiguió el objetivo deseado en el tiempo dado (1 hora), si bien el 25% de los usuarios en MatLab y el 37,50% en LabVIEW consiguieron encender el LED del brazo robotizado, solo el 37,50% de los usuarios de LabVIEW consiguieron además mover uno de los motores del brazo robotizado. Las cifras se disparan cuando se utiliza SiLaRR en el mismo proceso, dónde el 62,50% de los usuarios consiguieron integrar el equipo robotizado completamente en la hora de tiempo asignada.

Una vez más, en este caso, es la característica de integración de SiLaRR la que permite estos resultados. La posibilidad de prediseñar módulos de software para determinados equipos robotizados con características comunes, permite agilizar la integración y reduce el tiempo de postinstalación a la elección de los pines a utilizar, y a la comprobación de éstos por parte del usuario. El hecho de que varios de los usuarios pudieran encender el LED con MatLab y LabVIEW responde a que una vez integrada la placa Arduino UNO R3 en estos sistemas, se puede llegar a utilizar mínimamente su funcionalidad, de hecho el ejemplo habitual, lo que se podría definir como el “Hola

mundo” del hardware, podría considerarse que es el encender y apagar un led. Cuando el sistema se complica y hay que añadir nuevas configuraciones es cuando la mayor capacidad de integración y modularidad de SiLaRR toma ventaja, ahorrando tiempo al usuario.

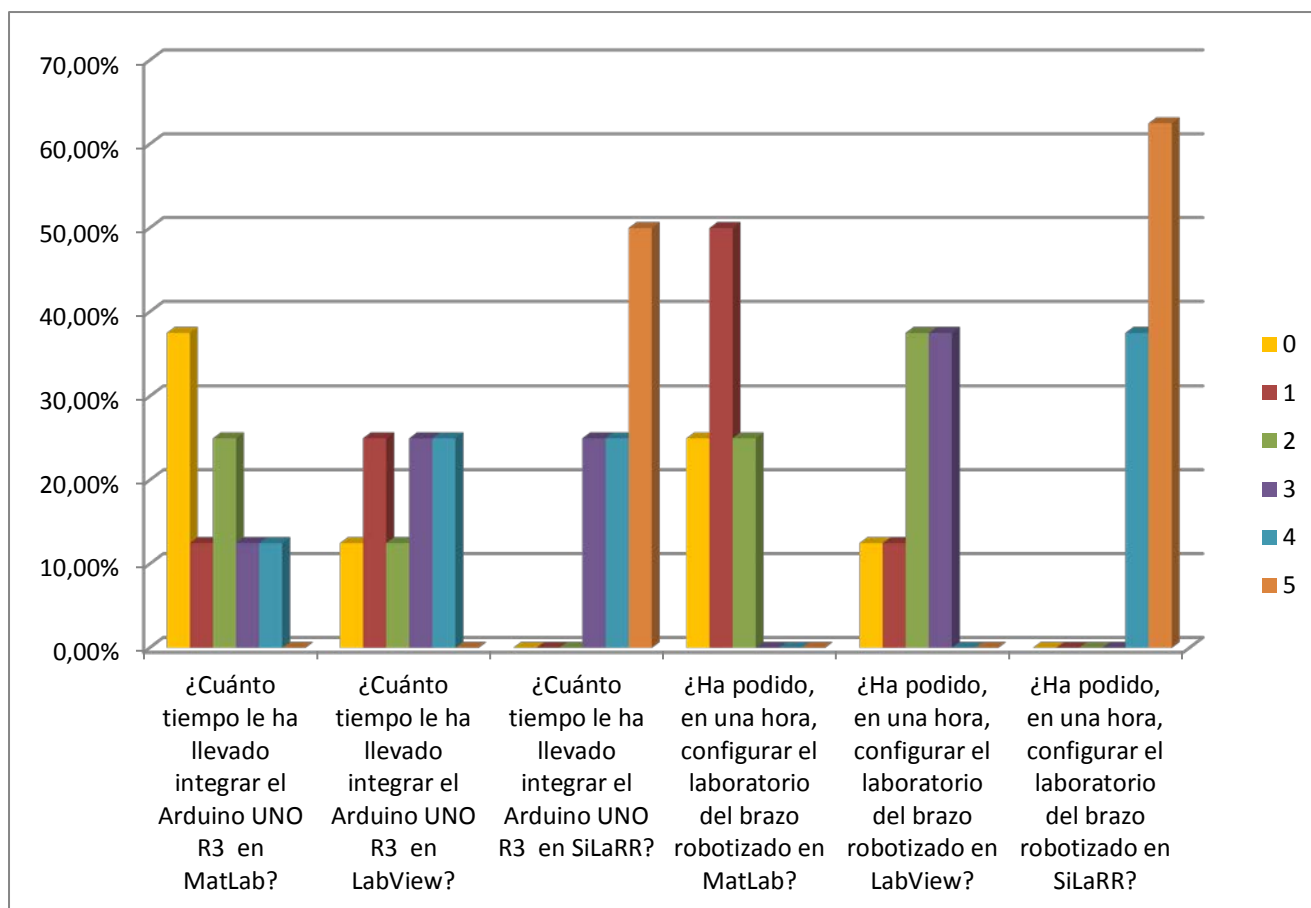


Figura 6.17. Gráfica de análisis de datos de la Tabla 6.2.

La última pregunta que se hizo a los usuarios administradores se realizó teniendo en cuenta todos los factores ya vistos y el despliegue de la plataforma para un uso remoto. En este caso LabVIEW y MatLab cuentan con su propio sistema de gestión de servicios web y SiLaRR con las opciones de servidor analizadas previamente en este trabajo. Dichas opciones se mostraron a los administradores en una sesión de 30 minutos. A continuación tuvieron que realizar unas sencillas prácticas de alta y baja de usuarios y asignación de laboratorios. Dada su formación previa en software de gestión no fue necesaria formación adicional.

Una vez los usuarios analizaron todas las opciones el grado de satisfacción con los distintos sistemas probados dio lugar a la Tabla 6.3.

Es destacable el hecho de que el 62,50% de los usuarios considere SiLaRR como el sistema a utilizar y que el 37,50% y el 25% no utilizarían MatLab ni LabVIEW, respectivamente en ningún caso.

Las conclusiones de este análisis fueron muy importantes para el desarrollo de SiLaRR ya que la orientación de este sistema se vuelca en permitir el despliegue de laboratorios por parte de usuarios que no tienen por qué tener una profunda formación

en las áreas de programación, comunicaciones o servicios web. Se incluye en las características a valorar el hecho de que el citado despliegue se realice de una manera rápida y se pueda gestionar de una forma cómoda, y que, del mismo modo, se pueda desconectar de Internet de igual manera si es necesario.

| Valoraciones | MatLab | LabVIEW | SiLaRR |
|--------------|--------|---------|--------|
| 0 | 37,50% | 25,00% | 0,00% |
| 1 | 12,50% | 12,50% | 0,00% |
| 2 | 25,00% | 25,00% | 0,00% |
| 3 | 12,50% | 12,50% | 0,00% |
| 4 | 12,50% | 25,00% | 37,50% |
| 5 | 0,00% | 0,00% | 62,50% |

Tabla 6.3. Valoración final por parte de los usuarios administradores.

Los datos visuales reflejados en la Figura 6.18 permiten apreciar en un solo vistazo la agrupación de usuarios que recibe SiLaRR en los niveles 4 y 5 de optimización en lo que respecta al sistema deseado.

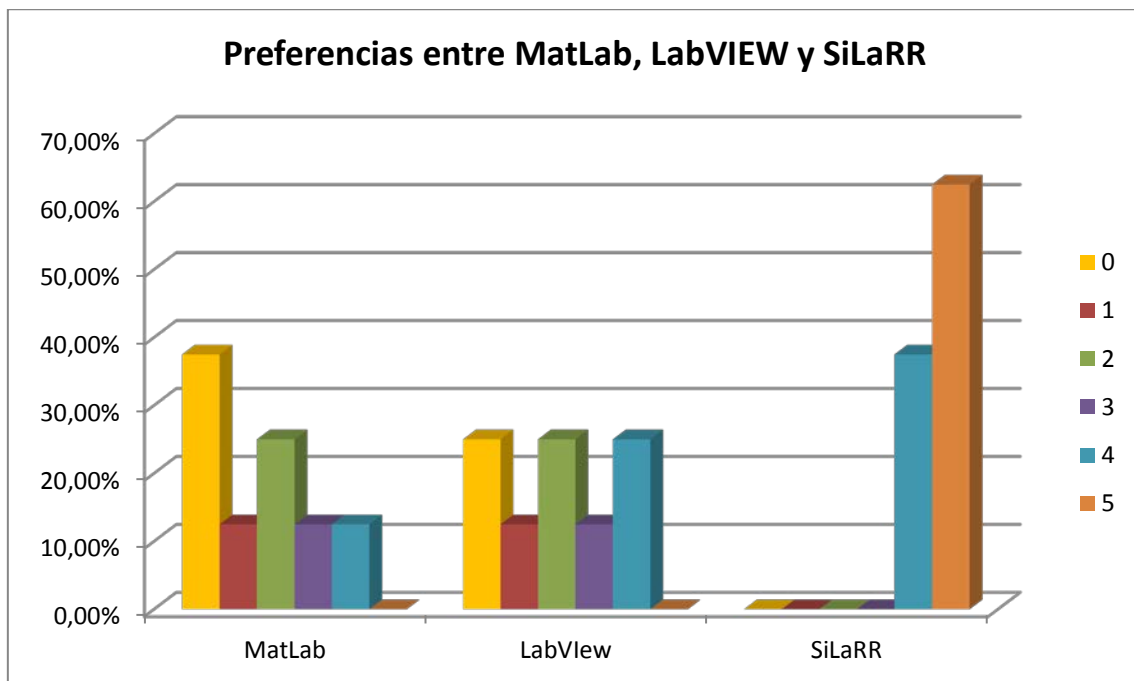


Figura 6.18. Gráfica de datos de optimización de uso de la Tabla 6.3.

Dado que la principal utilidad de SiLaRR es la integración de laboratorios de robótica, se tomó nota de las sugerencias de los administradores en ese sentido. Varias de ellas se han optimizado en la versión final pero otras se irán desarrollando como trabajos futuros, no obstante una de las conclusiones obtenidas en este sentido fue que la generalidad en hardware de los sistemas (caso de MatLab y LabVIEW) puede llegar a complicar tanto su uso que reduce en gran medida la utilidad de los mismos.

6.3.2. Experiencia de tutores

Otro grupo de usuarios de gran interés para SiLaRR era precisamente el de los tutores. Dado que la vocación de SiLaRR es educativa y formativa era necesario conocer la opinión de estos y escuchar sus ideas y sugerencias de cara a mejorar el sistema. En este caso las preguntas se orientaron más a la vertiente del uso de SiLaRR como herramienta complementaria de las lecciones impartidas en clase.

Como en el caso anterior se utilizó el laboratorio del brazo robotizado y se buscó una orientación a sesiones sobre tecnología siguiendo alguna de las pautas del escenario educativo mostrado previamente en este trabajo. Si lo deseaban, y consideraban, oportuno, se les permitía incluir nuevos escenarios.

Dado que la instalación, integración y despliegue del laboratorio ya había sido realizado por los usuarios administradores, a los tutores se les pidió que, utilizando la interfaz web; y en caso necesario pidiendo ayuda a los administradores; organizaran y dieran de alta a sus alumnos en el sistema y asignarán el uso del laboratorio de manera que les resultara útil para sus clases.

En este caso se procedió a explicar a los administradores cómo funcionaba la parte de gestión de usuarios y de asignación de laboratorios y se dejó que fueran ellos mismos quienes explicaran a los tutores el funcionamiento de dicha operatividad. Esas indicaciones fueron de 15 minutos y se realizaron bajo la supervisión del autor de esta tesis doctoral. Lo que se pretendía con esto era dejar libre a SiLaRR en manos de los administradores para comprobar, o no, lo intuitivo del uso de su interfaz por usuarios sin conocimientos de gestión de bases de datos, en este caso los tutores, y evidentemente para verificar la comprensión del uso de SiLaRR por parte de los administradores.

De la misma forma que en el caso anterior se realizaron una serie de preguntas previas a la utilidad del sistema y otras posteriores al uso del mismo que se describen a continuación:

- Posicionamiento sobre el uso de laboratorios remotos como herramienta didáctica:
 - ¿Cree que utilizar un laboratorio remoto de robótica puede ser útil en su clase?:
 - ✓ 0: No, no aportaría nada y me daría más trabajo.
 - ✓ 1: Depende de la asignatura.
 - ✓ 2: Creo que puede ser útil.
 - ✓ 3: Sí, como herramienta complementaria.
 - ✓ 4: Sí, como puede serlo el usar vídeos o presentaciones.
 - ✓ 5: Sí, incluso como núcleo didáctico de una clase.
 - ¿Cree que aportaría algo a sus alumnos en lo referente a su motivación y atención en clase?:
 - ✓ 0: No, porque para ellos la clase es un mero trámite.
 - ✓ 1: Depende del tipo de alumno.
 - ✓ 2: Creo que puede ser útil.

- ✓ 3: Sí, les mostraría en la realidad lo aprendido en la teoría.
 - ✓ 4: Sí, introduce un elemento innovador y vivo que rompe la monotonía de la clase.
 - ✓ 5: Sí, les acercaría más al uso real de la tecnología y sin duda eso los motivaría y atraería su atención.
- Análisis sobre la utilidad de SiLaRR como herramienta de integración de laboratorios remotos de robótica:
- Ahora que ya ha utilizado SiLaRR, ¿le ha parecido sencillo utilizar su interfaz web de gestión de alumnos?
 - ✓ 0: No, es muy complicada y he tenido que pedir al administrador que me asigne los alumnos.
 - ✓ 1: Podría ser más sencilla, alguna vez he tenido que llamar al administrador para que me ayudara.
 - ✓ 2: La primera vez tuvo que guiarme el administrador, pero luego ya lo hice yo.
 - ✓ 3: Sí, poco a poco he creado mis alumnos fácilmente.
 - ✓ 4: Sí, una vez aprendes, usarla es algo mecánico.
 - ✓ 5: Sí, he creado a mis alumnos fácil y rápidamente.
 - ¿Le ha parecido sencillo utilizar su interfaz web de gestión y asignación de laboratorios?
 - ✓ 0: No, es muy complicada y he tenido que pedir al administrador que asigne los laboratorios.
 - ✓ 1: Podría ser más sencilla, alguna vez he tenido que llamar al administrador para que me ayudara.
 - ✓ 2: La primera vez tuvo que guiarme el administrador, pero luego ya lo hice yo.
 - ✓ 3: Sí, poco a poco he asignado mis laboratorios a mis alumnos fácilmente.
 - ✓ 4: Sí, una vez aprendes, usarla es algo mecánico.
 - ✓ 5: Sí, he asignado mis laboratorios a mis alumnos fácil y rápidamente.
 - Después de las pruebas realizadas y en base a los diferentes escenarios educativos sugeridos indique en qué medida el laboratorio ofrecido por SiLaRR le ha sido útil para sus clases:
 - ✓ 0: No ha sido útil, no llegué a utilizarlo porque no me convenció.
 - ✓ 1: Lo utilicé para cubrir 10 minutos de clase mientras yo preparaba un apartado de la lección.
 - ✓ 2: Lo utilicé como ejemplo de robótica aplicada en una lección sobre tecnología. A los alumnos les pareció interesante.
 - ✓ 3: Sí, resultó útil, lo utilicé como ejemplo práctico de la teoría impartida previamente.
 - ✓ 4: Sí, no solo es útil, en clase los alumnos empezaron a preguntar sobre cómo funcionaba, si realmente se estaba moviendo cuando pulsábamos los botones, etcétera.
 - ✓ 5: Sí, hasta el punto de que captó la atención y el interés de los alumnos y parte de la clase giró sobre el propio laboratorio.

Los resultados mostrados en la Tabla 6.4 reflejan que, si bien en algunos casos aún existe cierta reticencia a modificar el sistema tradicional de la clase basada en libros o apuntes; al menos para un 6,06% de los usuarios; un 66,66% está dispuesto a utilizar un laboratorio remoto (niveles del 3 al 5) de una u otra forma en sus clases. En este análisis debe tenerse en cuenta que algunos profesores no están habituados a utilizar la tecnología en sus asignaturas, hay factores como el miedo al nuevo entorno, la falta de flexibilidad o la ruptura de la rutina, que pueden provocar reacciones de rechazo al uso de nuevas tecnologías, y los laboratorios remotos; como se ha visto a lo largo de esta tesis doctoral; son una tecnología que necesita generalizarse aún más.

| Valoraciones | ¿Cree que utilizar un laboratorio remoto de robótica puede ser útil en su clase? | ¿Cree que aportaría algo a sus alumnos en lo referente a su motivación y atención en clase? |
|--------------|--|---|
| 0 | 6,06% | 6,06% |
| 1 | 12,12% | 6,06% |
| 2 | 15,15% | 24,24% |
| 3 | 21,21% | 18,18% |
| 4 | 24,24% | 21,21% |
| 5 | 21,21% | 24,24% |

Tabla 6.4. Valoración del uso de un laboratorio remoto en clase por parte de los usuarios tutores.

La figura 6.19 refleja visualmente las diferentes respuestas de los tutores respecto a la utilidad en clase de esta herramienta, pero también permite apreciar que existe un amplio consenso a la hora de percibir que el uso de un laboratorio remoto en clase puede ser útil para los propios alumnos incrementando en ellos su motivación y atención. El 87,79% (niveles del 2 al 5) de los tutores creen que de una u otra manera un laboratorio remoto en clase puede ser beneficioso para el alumno, [256] , [268].

Otro tema es hasta qué punto realmente puede influir. En unos casos puede ser percibido como algo novedoso que posteriormente deje de ser atractivo por la repetición de su uso, y en otros casos puede ser realmente una herramienta poderosa para motivar al alumno a realizar preguntas, o debatir sobre una determinada asignatura utilizando el laboratorio como herramienta de información práctica, [269].

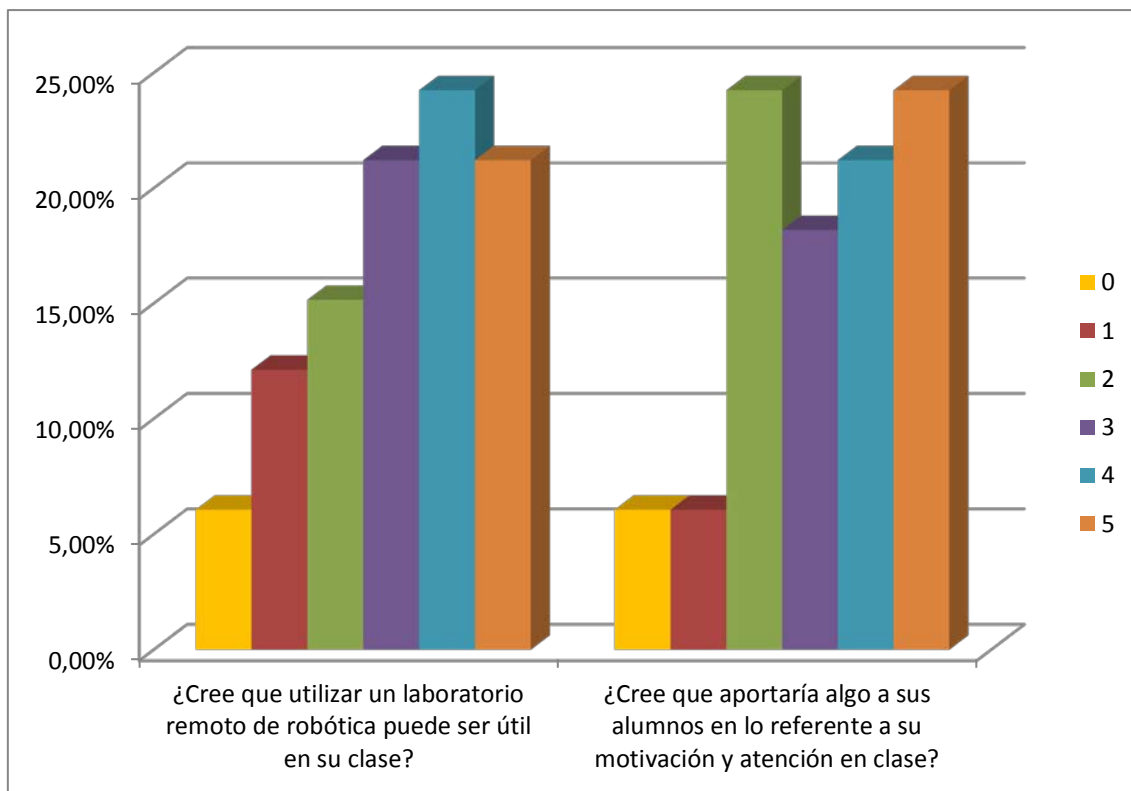


Figura 6.19. Percepción de la utilidad de un laboratorio remoto de robótica por parte de los tutores según la Tabla 6.4.

Una vez realizadas las prácticas con SiLaRR era necesario conocer hasta qué punto la interfaz web propuesta era suficientemente simple e intuitiva para lograr el objetivo de facilitar la gestión de alumnos y la asignación de laboratorios por parte de los tutores.

La Tabla 6.5 muestra los resultados obtenidos en la valoración de SiLaRR desde el punto de vista de su uso real por parte de los tutores. Si bien la interfaz web se diseñó teniendo en cuenta la simplicidad, es evidente que el usuario final siempre puede aportar ideas, sugerencias y valoraciones que pueden acercar el resultado inicial a un resultado óptimo de cara al cliente.

En este caso, al igual que con los administradores, se tomó nota de las sugerencias de los tutores y algunas de ellas se incluyeron posteriormente en la versión 1.0 final de SiLaRR, como fue el caso de la inclusión de los avisos de actividad.

Es de destacar la percepción de sencillez a la hora de utilizar la interfaz de gestión, un 87,87% de los usuarios utilizaron el sistema sin necesidad de recurrir a los administradores (niveles del 3 al 5). De la misma forma el sistema de asignación de laboratorios arroja un 90,90% de usuarios que entendieron y usaron las opciones de asignación y reserva de laboratorios sin problema (niveles del 3 al 5). Posiblemente el uso de botones con contenido explicativo de texto ayudó en ambas actividades.

| Valoraciones | ¿Le ha parecido sencillo utilizar su interfaz web de gestión de alumnos? | ¿Le ha parecido sencillo utilizar su interfaz web de gestión y asignación de laboratorios? | Indique en qué medida el laboratorio ofrecido por SiLaRR le ha sido útil para sus clases |
|--------------|--|--|--|
| 0 | 6,06% | 3,03% | 6,06% |
| 1 | 3,03% | 3,03% | 6,06% |
| 2 | 3,03% | 3,03% | 9,09% |
| 3 | 27,27% | 30,30% | 30,30% |
| 4 | 36,36% | 45,45% | 33,33% |
| 5 | 24,24% | 15,15% | 15,15% |

Tabla 6.5. Valoración del uso de SiLaRR por parte de los usuarios tutores.

La Figura 6.20 muestra de manera visual otro de los aspectos significativos de esta prueba, el hecho de que el 78,78% de los usuarios (niveles del 3 al 5) han considerado que el laboratorio ofrecido por SiLaRR ha resultado útil para sus clases de alguna manera.

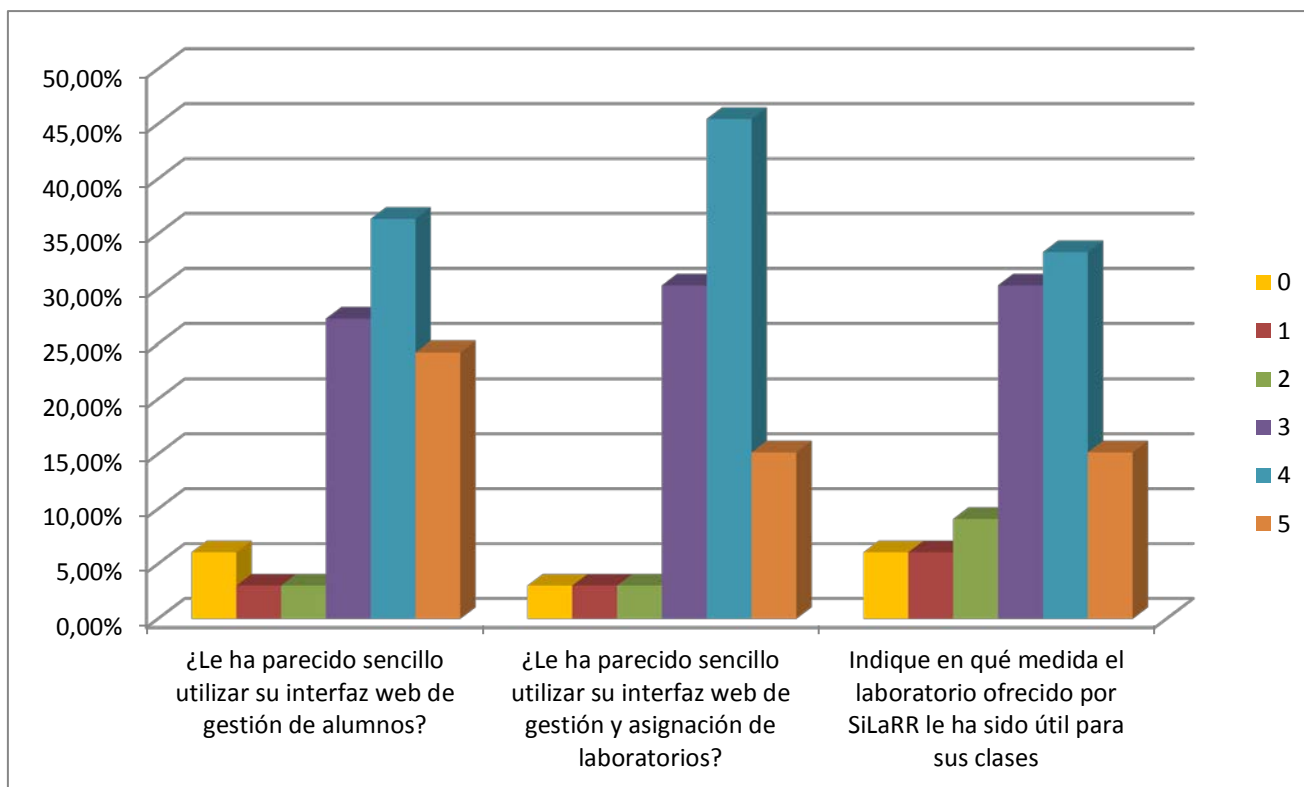


Figura 6.20. Percepción de la dificultad en el uso de SiLaRR por los tutores según la Tabla 6.5.

La divulgación de la tecnología a través del uso de laboratorios remotos es una herramienta muy útil para la docencia, pero es evidente que son los tutores o profesores los primeros que deben estar cómodos con ella para que poco a poco se vaya generalizando su uso. Estos resultados muestran un paso adelante en ese sentido.

6.3.3. Experiencia de alumnos

Finalmente se procedió a realizar las pruebas pertinentes con los alumnos. En este caso los tutores les explicaron en qué consistía el uso de laboratorios remotos, y los administradores les ayudaron a comprender el funcionamiento del sistema de asignaciones y reservas.

Para analizar los resultados se dividieron las preguntas en dos secciones:

- Experiencia previa sobre el uso de los laboratorios remotos y su utilidad:
 - ¿Has utilizado alguna vez un laboratorio remoto en tu domicilio o en clase?
 - ✓ 0: No, es la primera vez que oigo ese concepto.
 - ✓ 1: No, pero sé lo que es.
 - ✓ 2: No he podido usarlo, pero si he visto alguno.
 - ✓ 3: Sí y he visto como se usaba.
 - ✓ 4: Sí, he usado alguno desde mi domicilio.
 - ✓ 5: Sí, he usado alguno en clase.
 - ¿Crees que te sería útil usar alguno en clase?
 - ✓ 0: No, no sirven para nada.
 - ✓ 1: No, prefiero las clases tradicionales con libro o apuntes.
 - ✓ 2: Sí, siempre que no entre en el examen.
 - ✓ 3: Sí, creo que sería útil.
 - ✓ 4: Sí, me ayudaría a entender aspectos de la teoría.
 - ✓ 5: Sí, me gustaría utilizarlo en todas las asignaturas posibles.
- Experiencia en el uso de SiLaRR tanto para gestión de reservas como para uso de laboratorios:
 - ¿Crees que la interfaz web es sencilla para realizar las reservas y accesos a los laboratorios?
 - ✓ 0: No, es muy complicada y he tenido que pedir al administrador que me reserve los laboratorios.
 - ✓ 1: Podría ser más sencilla, alguna vez he tenido que llamar al administrador para que me ayudara.
 - ✓ 2: La primera vez tuvo que guiarme el administrador, pero luego ya lo hice yo.
 - ✓ 3: Sí, poco a poco he reservado mis laboratorios fácilmente.
 - ✓ 4: Sí, una vez aprendes, usarla es algo mecánico.
 - ✓ 5: Sí, he reservado mis laboratorios fácil y rápidamente.
 - ¿Crees que te ha resultado útil SiLaRR para utilizar sus laboratorios remotos?
 - ✓ 0: No ha sido útil, no llegué a utilizarlo porque no me interesa.
 - ✓ 1: Lo utilicé para probarlo durante un par de minutos.
 - ✓ 2: Lo utilicé solo en clase un par de veces porque me resultó interesante.

- ✓ 3: Sí, resultó útil, lo utilicé para entender la teoría recibida en clase previamente.
- ✓ 4: Sí, no solo es útil, me ha gustado el uso del brazo robotizado y quiero aprender más sobre él y como funciona.
- ✓ 5: Sí, hasta el punto de que me gustaría usarlo también desde mi casa.

En la Tabla 6.6 se muestra el conocimiento previo de los alumnos en lo que a laboratorios remotos respecta. Es de destacar que en este caso el 70,59% (niveles del 3 al 5) de los alumnos ha visto o ha utilizado un laboratorio remoto alguna vez. Se debe recalcar que en el Colegio Karbo se han realizado pruebas con laboratorios remotos, como los ofrecidos por WebLab-Deusto, [74], en otras ocasiones. Esta experiencia previa en los alumnos ha permitido ganar tiempo ya que la mayoría de ellos son capaces de diferenciar entre un laboratorio virtual y uno remoto y el hecho de conocer otros laboratorios les asigna una visión crítica mediante comparación que ha sido muy útil a la hora de evaluar los resultados obtenidos.

| Valoración | ¿Has utilizado alguna vez un laboratorio remoto en tu domicilio o en clase? | ¿Crees que te sería útil usar alguno en clase? |
|------------|---|--|
| 0 | 5,88% | 5,88% |
| 1 | 5,88% | 4,71% |
| 2 | 17,65% | 10,59% |
| 3 | 30,59% | 29,41% |
| 4 | 12,94% | 35,29% |
| 5 | 27,06% | 14,12% |

Tabla 6.6. Conocimientos previos sobre laboratorios remotos por parte de los usuarios alumnos.

Por otro lado y en la Figura 6.21 puede apreciarse que al 78,82% (niveles del 3 al 5) de los alumnos les gustaría utilizar un laboratorio remoto en clase. Como se indica, experiencias positivas anteriores en ese sentido, posiblemente estén influyendo en esta respuesta. En cualquier caso el interés demostrado acumulado ha ayudado a realizar estas pruebas con SiLaRR entre la muestra de estudiantes.

Estos datos fueron analizados de manera previa a las pruebas. Vista la receptividad existente se procedió a explicar a los alumnos; como ya se ha indicado; las características del sistema y se les propuso realizar prácticas de reserva y acceso a laboratorios para conocer su opinión tanto sobre la interfaz web y su mayor o menor sencillez, como sobre el hecho de poder acceder al laboratorio del brazo robotizado y poder utilizarlo libremente durante las pruebas.

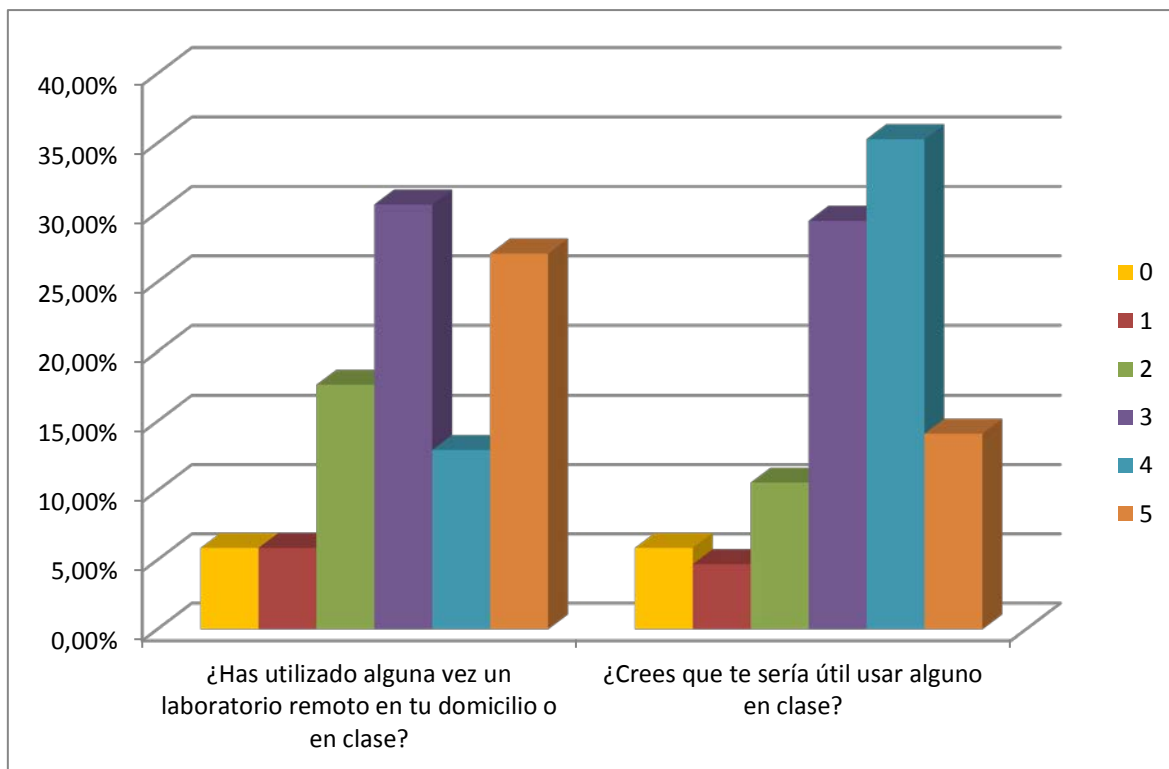


Figura 6.21. Análisis de los conocimientos previos sobre laboratorios remotos según la Tabla 6.6.

Los resultados obtenidos tras las pruebas con SiLaRR se recogen en la Tabla 6.7 donde se puede apreciar que el 70,59% (niveles del 3 al 5) de los alumnos consideran que la interfaz web es sencilla y que no han tenido problemas para realizar las reservas de laboratorios.

| Valoraciones | ¿Crees que la interfaz web es sencilla para realizar las reservas y accesos a los laboratorios? | ¿Crees que te ha resultado útil SiLaRR para utilizar sus laboratorios remotos? |
|--------------|---|--|
| 0 | 4,71% | 2,35% |
| 1 | 11,76% | 7,06% |
| 2 | 12,94% | 4,71% |
| 3 | 20,00% | 21,18% |
| 4 | 29,41% | 43,53% |
| 5 | 21,18% | 21,18% |

Tabla 6.7. Valoración del uso de SiLaRR por parte de los usuarios alumnos.

Por otro lado es de destacar que el 85,89% de los alumnos consideran que SiLaRR les ha resultado útil como herramienta de integración de laboratorios a la hora de complementar las lecciones recibidas en clase. La Figura 6.22 permite apreciar visualmente el valor que los alumnos han dado a esta herramienta.

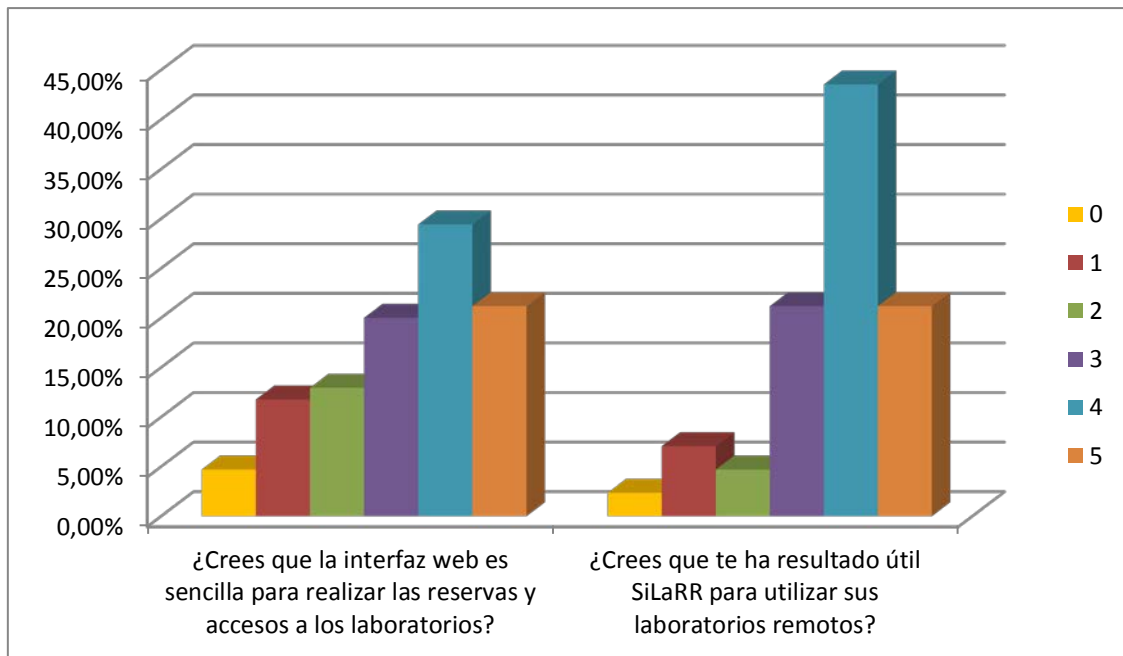


Figura 6.22. Percepción de la dificultad en el uso de SiLaRR y su utilidad por parte de los alumnos según la Tabla 6.7.

Teniendo en cuenta la experiencia previa de los alumnos con otros laboratorios remotos, estas respuestas se valoran aún más ya que cuentan con la importancia que supone el percibir a SiLaRR en comparación con otros laboratorios ya existentes.

El uso real y las sugerencias aportadas por los estudiantes, también fueron tenidos en cuenta a la hora de mejorar SiLaRR de cara a su versión final.

6.4 Costes de desarrollo

Uno de los objetivos de SiLaRR era que pudiera permitir la integración de laboratorios remotos de robótica con un bajo coste. Desde el punto de vista de la suite de integración y debido a su licencia GPLv3 la idea es que el sistema se extienda hasta aquellos centros educativos, o personas particulares, interesados en desplegar laboratorios en Internet o en compartir desarrollos derivados de trabajos relacionados con el Internet de las cosas. Con todo, el desarrollo de SiLaRR, ha sido un trabajo de investigación, desarrollo, diseño e implementación muy elaborado, al que hay que añadir el desarrollo de los laboratorios específicos para los módulos con los que ya cuenta.

En este trabajo una parte del mismo ha sido implementación con código fuente en diferentes lenguajes de programación: Delphi, Java, PHP, JavaScript, HTML, AJAX, librerías de jQuery, cada lenguaje de programación tiene sus características, pero también cada programador tiene su forma de trabajar y si bien tradicionalmente se ha intentado medir la productividad a través de las líneas de código diarias implementadas, [275], debe asumirse que este tipo de cálculo implica que muchas veces no se tienen en cuenta las dificultades en el diseño de algoritmos, la corrección de errores de código fuente, las pruebas de funcionamiento del sistema en su conjunto, la diferente dificultad de cada lenguaje utilizado, así como factores de diseño o incluso la posibilidad de que después de haber dedicado un gran número de líneas de código y horas de trabajo a un

desarrollo, la funcionalidad buscada no se pueda implementar y haya que empezar de nuevo utilizando otra alternativa.

No obstante y explicada la subjetividad de esa medición y dado que en estas líneas el cálculo del coste se incluye como una mera aproximación, [276], se utilizará dicho sistema estableciendo un ratio aproximado de 12,8 líneas de código al día en un año de trabajo de 250 días laborables, [277], y ocho horas diarias de trabajo.

Se han intentado calcular los costes de este desarrollo y como resultado a la finalización de esta tesis doctoral se han elaborado unas tablas recopilando el proceso de manera individualizada para cada sección desarrollada dedicada al sistema, y que se analizan a continuación:

➤ Costes de implementación de la suite de SiLaRR:

Extrapolando y sumando de manera aproximada todas las líneas de código generadas en los diferentes lenguajes y agrupando por comodidad los lenguajes vinculados a tecnologías web bajo la referencia “PHP, AJAX, HTML y otros”, tenemos como resultado la Tabla 6.8.

| Lenguaje de programación | Líneas de código |
|--------------------------------|------------------|
| Java | 6.921 |
| PHP, AJAX, HTML y otros | 3.516 |
| C++ | 440 |
| Delphi | 281 |
| TOTAL | 11.158 |

Tabla 6.8. Líneas de código totales de SiLaRR.

En la Figura 6.23 se parecía de manera visual la importancia de cada lenguaje en el conjunto total, en donde destaca el 62% de Java en el total del desarrollo.

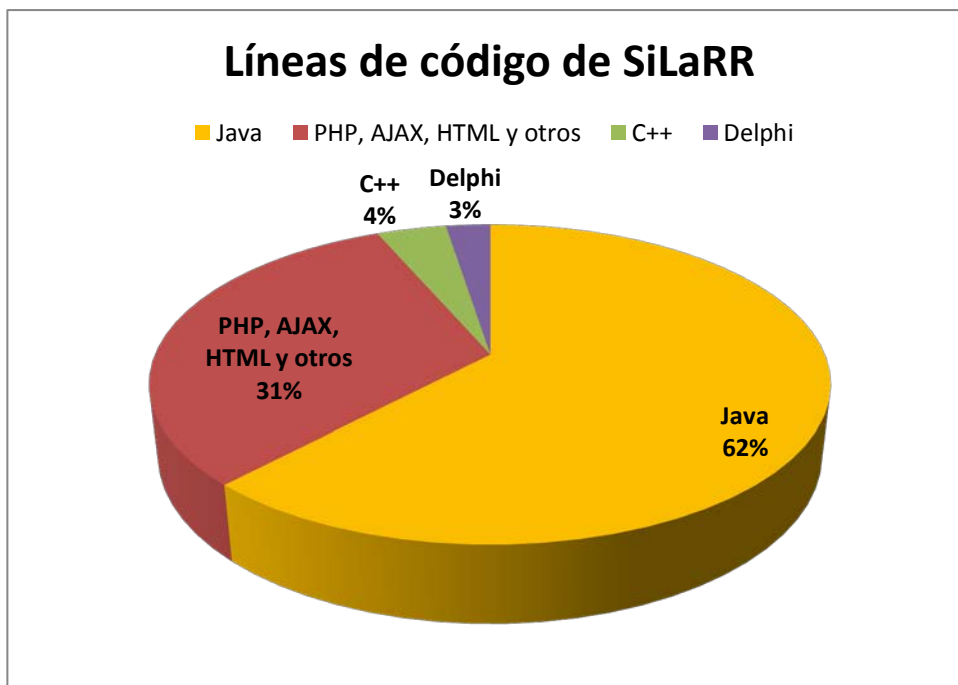


Figura 6.23. Importancia de cada lenguaje de programación en SiLaRR.

Con el importe total de líneas, y utilizando la referencia líneas/día indicada previamente, es fácil deducir el total de días de trabajo necesario, que supondrían un total de 871,72 días de trabajo (11.158/12,8) o lo que es lo mismo casi dos años y medio de trabajo (2,39 años) con 365 días año o bien casi tres años y medio (3,49 años) con 250 días laborales año.

El importe económico del citado desarrollo estableciendo un salario por hora de trabajo de un ingeniero junior; dado que en este caso solo se contabiliza el trabajo de programación y no el de investigación llevado a cabo; cifrado en un precio de 23 €/hora con un total de 6.973,76 horas (871,72*8 horas/día) de trabajo, nos da un importe que ascendería a 160.396,48 € de coste total del desarrollo. Lo que da una idea bastante clara del importante ahorro que supone para el usuario poder acceder a SiLaRR mediante licencia GPLv3.

➤ Costes de licencias y de materiales para los laboratorios desarrollados:

Como se indicó al inicio de esta tesis doctoral una de las ventajas de SiLaRR es la no existencia del pago de licencias por uso de software, como sí ocurre; como ya se ha indicado; con LabVIEW y con MatLab.

Por otro lado a lo largo de todo el desarrollo se ha contado con software libre; en la mayoría de los casos gratuito salvo que se desee contratar algún servicio de mantenimiento; y de hardware libre de bajo coste como es el caso de Arduino.

Ese ahorro permite centrar el cálculo de costes en el precio de los materiales para desarrollar los laboratorios utilizados para diseñar los módulos de SiLaRR. Los precios; sin impuestos; tomados como referencia, [278], en el momento de escribir esta tesis doctoral se resumen en la Tabla 6.9.

| Módulos | Material | Precio | Total por módulo |
|------------------|-----------------------|---------|------------------|
| LED RGB | Arduino UNO | 21,90 € | 28,02 € |
| | LED RGB | 0,87 € | |
| | Resistencias y cables | 5,25 € | |
| Brazo Robotizado | Kit C-9598 | 44,03 € | 133,29 € |
| | Arduino UNO | 21,90 € | |
| | Puentes en H | 64,51 € | |
| | Cables | 2,85 € | |
| Genérico | Arduino UNO | 21,90 € | 124,90 € |
| | Shield Ethernet | 31,00 € | |
| | Shield Wi-Fi | 72,00 € | |
| TOTAL | | | 286,21 € |

Tabla 6.9. Coste por módulo y total de los laboratorios de SiLaRR.

Es evidente que los importes suponen un coste muy bajo comparado con la inversión necesaria en las licencias y equipamiento hardware de otros sistemas comerciales. Con LabVIEW cuya licencia básica comercial sin hardware cuesta actualmente 995 € [279], y con MatLab el precio de licencia individual está actualmente en 2.000 € [280], en ambos casos sin incluir el hardware.

SiLaRR siempre se diseñó con la idea de integrar laboratorios de bajo coste de manera sencilla y práctica para poder desplegar dichos laboratorios y sus servicios en Internet por personas que no tuvieran una elevada formación en informática y gestión de servidores y sistema, y con un presupuesto ajustado. Los precios y costes aquí mostrados reflejan esa filosofía en relación con otros sistemas del mercado.

6.5. Conclusiones

En un proyecto de investigación pocas veces se tiene la oportunidad de poder utilizar el desarrollo realizado en ejemplos reales y mucho menos dentro de proyectos existentes. Teniendo en cuenta que en el ámbito educativo y de la formación no hay mejor manera de probar la eficiencia de un producto que con casos de uso reales, el hecho de poder haber testado el desarrollo inicial ha permitido pasar de la versión Beta a la versión 1.0 con mejoras extraídas con la práctica de uso real.

Para SiLaRR la oportunidad de aprovechar parte de su implementación en proyectos de divulgación como TechnoMuseum o directamente para el uso en tiempo real de laboratorios remotos como Go-Lab ha sido la prueba de fuego que ayudó a depurar y ajustar el diseño que ha culminado en el desarrollo final que ahora se muestra.

Inicialmente SiLaRR estaba únicamente enfocado a los laboratorios de robótica, las pruebas de uso en el Trabajo de Fin de Máster citado en este capítulo probaron que su flexibilidad en ese sentido mostraba unas posibilidades de integración de equipos robotizados adecuadas a las expectativas iniciales. El descubrir con el laboratorio “El color de la luz” que el sistema podía también adaptarse a otro tipo de laboratorios

permitió un paso adelante en la concepción del mismo añadiendo el concepto de generalización a su desarrollo.

La implementación de nuevas aplicaciones de uso de laboratorios con Arduino y el despliegue de una interfaz de carga y compilación de código independiente para el Máster RIPLECS, o el hecho de utilizar como referencia el concepto de Internet de las cosas, permitió dotar a SiLaRR de los datos necesarios para aumentar su modularidad permitiendo la integración de diferente hardware y un uso que ha sobrepasado las perspectivas iniciales.

Por otro lado la aplicación real en colegios con entornos de aprendizaje personalizados y su inserción en las clases ha permitido ver como se comportaba el sistema en la realidad. Estas pruebas prácticas con administradores, tutores y alumnos han permitido conocer de primera mano los posibles fallos de diseño, en lo que a interfaz de usuario se refiere, y las necesidades que los usuarios quieren satisfacer al utilizar una herramienta como SiLaRR en sus clases.

Los resultados obtenidos de las pruebas directas muestran como los usuarios se encuentran más cómodos con un sistema que; si bien en generalización de hardware; comparado con MatLab y LabVIEW; todavía debe evolucionar, posee una interfaz de usuario y una sencillez de uso más acentuada de cara a los usuarios finales. Como ya se ha indicado SiLaRR no pretendía convertirse en un sistema para un uso puntual, su objetivo siempre ha sido ir creciendo con la integración de módulos de nuevos laboratorios. Las preferencias de los usuarios muestran que el sistema ha tomado la senda correcta.

Por otro lado, otra de las ventajas evidentes de SiLaRR, es el bajo coste. Desde el lado de la propia plataforma en sí cuya licencia GPLv3 la convierte en un sistema al alcance de quién lo desee y abre su capacidad de mejora e integración de nuevos módulos a la dimensión de otros proyectos de software libre en los que los usuarios marcan las pautas de evolución del sistema. Y desde la perspectiva del coste de los laboratorios desarrollados para los módulos existentes, que ayudados por el uso de hardware libre permiten disponer de laboratorios funcionales a un precio que oscila entre los 28 y los 133 euros y que en su totalidad no llega a los 290 euros. Algo que muchos aficionados a la robótica, e instituciones y centros educativos y de formación seguro que agradecen.

Si bien todos los pasos en una investigación son complejos y satisfactorios por igual, para el autor, el hecho de haber podido probar en la realidad un sistema nuevo en pleno desarrollo es la mayor recompensa que se puede obtener. Ver que un desarrollo con el esfuerzo que conlleva no queda arrinconado en un cajón, sino que desde su etapa de desarrollo disfruta de la curiosidad y uso de otros, es motivador y de agradecer, ya que los usuarios; para bien o para mal; son los que tienen la última palabra.

“Somewhere, something incredible is waiting to be known.”

[En algún lugar, algo increíble está esperando a ser descubierto.]

— Carl Sagan

Capítulo

7

7. Conclusiones y líneas de investigación futuras

Si iniciar la transcripción de un proceso de investigación intentando plasmar en papel las horas de esfuerzo, los callejones sin salida, los días de búsqueda de soluciones, las horas de sueño perdidas y los momentos de satisfacción, es difícil, llegar al final y resumir todo este trabajo en unas conclusiones que hagan justicia con dicho proceso lo es aún más.

Uno de los aspectos más interesantes de SiLaRR ha sido que constituye un sistema multidisciplinar que aúna ingeniería telemática, comunicaciones, aplicaciones de software, aplicaciones web, gestión de bases de datos, integración de hardware y diferentes lenguajes de programación. Ese mismo aspecto obliga a tener que desarrollar líneas de investigación que analicen cada una de las ramas necesarias para que la unión de todas ellas facilite la consecución del desarrollo de un sistema, que además, sea susceptible de continuar siendo modificado y enriquecido con nuevas aportaciones modulares para incrementar su posibilidad de integración.

Precisamente como garantía de esa evolución se decidió en su momento utilizar la licencia GPLv3 en su desarrollo, y, en esa misma línea, en paralelo a la escritura de esta tesis doctoral se están iniciando los trámites necesarios para registrar SiLaRR como modelo de utilidad en la Oficina Española de Patentes y Marcas, permitiendo así que se convierta en una herramienta viva y que los propios usuarios si lo desean colaboren a su desarrollo libremente.

En este apartado se explican cuáles son los logros más representativos alcanzados con SiLaRR y las expectativas y desarrollos futuros con las que se pretende continuar su evolución.

7.1. Conclusiones y aportaciones de este trabajo

El objetivo inicial de facilitar la generalización de laboratorios remotos de robótica mediante el desarrollo de un sistema de integración de bajo coste, y la implementación de una herramienta sencilla capaz de cubrir las áreas básicas necesarias para proceder a esa integración, se ha cumplido de una manera óptima. Los resultados reales obtenidos

durante las prácticas llevadas a cabo en los diferentes proyectos citados y en las pruebas de campo en colegios o centros educativos, así lo corroboran.

Este es un logro importante porque permitirá, a partir de ahora, que todo aquel que desee desplegar un laboratorio de robótica, lo tenga un poco más fácil con SiLaRR, lo que a su vez permitirá generalizar el número de laboratorios reales existentes disponibles en Internet.

Pero más allá de ese objetivo, que por sí mismo supone un avance importante en el ámbito formativo o educativo, existen otros aspectos particulares mucho más concretos que se han ido analizando a lo largo de esta tesis doctoral y que han ido sentando las bases para que SiLaRR sea una herramienta escalable, versátil y modular:

➤ Desarrollo de una API de Gestión Inteligente (AGI):

La propuesta de utilizar un único dispositivo de gestión inteligente en paralelo a un software de integración, dio lugar a la elección de Arduino como plataforma de hardware libre a utilizar. Con la AGI se estandarizaba el sistema de conexión y comunicación con el sistema y el problema desde el lado del hardware se redujo a evaluar la posibilidad de integración del equipo robotizado con Arduino. Dadas las múltiples opciones posibles (tanto en digital como en analógico) facilitadas por Arduino, y debido a que la propia AGI ofrece sistemas de comunicación variados (serie, Ethernet, Wi-Fi, Bluetooth) se ha conseguido integrar de manera óptima hardware y software facilitando así la comunicación entre el servidor y el equipo robotizado y actuando dicha AGI como un único dispositivo inteligente capaz de hacer de puente con solo utilizar sus pines disponibles.

Evidentemente la selección de Arduino no se hizo de manera aleatoria, solo hay que ver las diferentes opciones existentes en este hardware libre para darse cuenta de que existe un Arduino casi para cada propósito. La demostración de que la AGI funciona, facilitará el uso de los diferentes módulos basados en los diferentes tipos de placas de Arduino para aumentar aún más las capacidades de integración de SiLaRR con equipos robotizados o laboratorios generalistas.

➤ Integración en un único sistema de gestión:

Dadas las características del sistema era necesario desarrollar un sistema de gestión común que fuera capaz en cada momento de actualizar los datos del laboratorio tanto a nivel de hardware como de software.

Se ha optimizado el uso de las herramientas web descritas a través de una base de datos configurada para permitir las actividades de gestión de base de datos, gestión de colas, software y servicios web desde, y hacia, el equipo robotizado del laboratorio gestionado por SiLaRR. Reduciendo así a la mínima expresión la necesidad de codificación de cara a la implementación de la funcionalidad de los laboratorios.

La unificación en un mismo sistema de todas las herramientas necesarias para el lado del servidor, conectadas en tiempo real con las necesidades de cada laboratorio integrado, constituye una gran ayuda para el usuario administrador ya que reduce y simplifica sus operaciones de modificación, acceso y eliminación o desactivación de dichos laboratorios.

➤ El despliegue de ambas tecnologías desde un único sistema de instalación y configuración:

Otra de las bazas de SiLaRR es el desarrollo de un sistema de instalación interactivo y amigable que interacciona con el usuario final desde el primer momento actuando como una caja negra frente a la que el usuario solo necesita saber qué tipo de laboratorio quiere instalar y cómo funciona su laboratorio, olvidándose de los ajustes manuales que otros sistemas necesitan.

Desde un proceso que originalmente sería complicado y que supone conocimientos de uso de servidores y sistemas de autorización en bases de datos, el usuario se encuentra con una interfaz que le anima a introducir los datos deseados por pantalla, verificarlos y pulsar un botón para avanzar en el proceso de instalación.

Se ofrecen todas las herramientas de software necesarias para interactuar con SiLaRR y se aconseja en todo momento que opciones tomar por si el usuario tiene alguna duda al respecto. Se permite instalar o no las opciones disponibles permitiendo, si el usuario lo desea, personalizar su propio sistema SiLaRR con sus propias herramientas existentes; siempre que cumplan con las características ya indicadas a lo largo de esta tesis doctoral.

Finalmente se simplifica el proceso de configuración a través de un único itinerario con opciones de validación que, en caso necesario, bloquean el avance en la configuración si el usuario no ha realizado los pasos que se esperan por parte de SiLaRR para que la configuración llegue a buen término. Incluyendo un sistema de gestión de errores, advertencias o avisos que informan al usuario de lo que está ocurriendo en cada momento.

Pero SiLaRR ofrece algo más, la posibilidad de realizar los cambios necesarios una vez ya se haya configurado el laboratorio, la asignación de usuarios de diferentes tipos, laboratorios, reservas, todo ello desde la propia suite de configuración en el PC del administrador o bien desde internet utilizando la interfaz web desarrollada a tal efecto y a la que se puede acceder utilizando también terminales móviles o tabletas.

Este mecanismo de unificación, exportable ahora a otro tipo de desarrollos, hace de SiLaRR una herramienta práctica y fácil de usar, accesible desde cualquier parte del mundo y desde cualquier terminal, con solo una conexión a Internet.

- Desarrollar un mecanismo “Plug and Play” que permite reutilizar el equipo robotizado:

El sistema de integración de SiLaRR es no intrusivo con el equipo robotizado. La estrategia de utilizar hardware como Arduino como núcleo de la AGI permite utilizar el equipo robotizado solo con conectar el cableado pertinente en los pines de Arduino que se desean emplear.

Ese sistema permite utilizar el equipo robotizado para el laboratorio y, una vez terminada su función, reutilizar el mismo equipo para otras labores, ya sean de prácticas reales presenciales o la realización de las labores habituales de uso con solo desenchufar el equipo del Arduino y volver a enchufar las conexiones en el equipo habitual.

En el caso de equipos con cableado fijo esta opción representa la posibilidad de puentear dicho cableado con extensiones temporales que hagan de pasarela hasta el Arduino y que posteriormente se pueden desconectar para que el laboratorio recobre su independencia frente al sistema.

La reutilización forma parte del ahorro de costes y del incremento de la eficiencia y permite situar a SiLaRR dentro de los sistemas no intrusivos. Dicha característica ha obligado a incrementar la complejidad del sistema y ha complicado el diseño del mecanismo de gestión, pero gracias a ello el usuario puede utilizar su equipo robotizado con SiLaRR sin tener que renunciar a su uso habitual en caso necesario. Todo ello sin afectar a la estructura o al hardware propio del equipo robotizado.

Con SiLaRR se abre un nuevo abanico de oportunidades para aquellos centros educativos, instituciones o empresas, que desean utilizar laboratorios remotos pero que por razones presupuestarias, de escasez de personal especializado o falta de tiempo, hasta ahora no podían hacerlo. Desde este momento existe una nueva opción escalable, versátil y modular que se ha demostrado útil y flexible en las diferentes pruebas llevadas a cabo y en los diferentes proyectos en que ha sido utilizada.

La **escalabilidad** permite a SiLaRR adaptarse a diferentes entornos formativos o educativos con diferentes tipos de equipos robotizados y diferente nivel de complejidad o necesidades.

La **versatilidad** permite que SiLaRR se muestre como un sistema adecuado para uso en colegios, por usuarios que tienen como hobby la robótica o por universidades o empresas que necesitan la formación como parte inherente a su filosofía de trabajo diario para cubrir las necesidades de cualificación de sus alumnos o de su personal.

La **modularidad** es la clave que permitirá a SiLaRR seguir potenciando sus cualidades a través de la implementación de nuevos módulos personalizados para equipos robotizados propios o comerciales, nuevos tipos de hardware para la AGI y nuevos sistemas de comunicaciones que permitan cubrir un mayor abanico de posibilidades de uso.

SiLaRR se diseñó para ser un sistema vivo y en constante mejora y cambio, para universalizar su uso y para que cualquiera que lo desee ofrezca nuevos laboratorios remotos a través de Internet, porque la divulgación de la ciencia y la tecnología necesita de la práctica para reforzar la formación y la educación en ingeniería y tecnología, y esa práctica debe estar al alcance del mayor número de personas posible a nivel mundial.

7.2. Desarrollos y aplicaciones futuras

La versión 1.0 de SiLaRR constituye solo el principio de una serie de aplicaciones orientadas a la manipulación y gestión de laboratorios de robótica, o, como se ha visto, de otro tipo de laboratorios más generalistas. Evidentemente esta versión es completamente operativa pero el objetivo es continuar mejorándola y aumentando sus posibilidades y servicios.

Para ello, aparte de continuar mejorando el funcionamiento, gestión de errores y la propia implementación del sistema en todo aquello que sea posible, existen varios desarrollos y aplicaciones futuras que se describen a continuación.

7.2.1. Aumentar el número de módulos disponibles

SiLaRR se caracteriza por su modularidad y ese es el aspecto a utilizar para mejorar sus servicios y su capacidad de integración. Existen varios módulos diferenciados que responden a las siguientes secciones del sistema:

- Aumentar el número de módulos de equipos robotizados:

Como ya se ha indicado existen multitud de equipos robotizados diferentes, con sus propias características, servicios y peculiaridades. Los módulos desarrollados para SiLaRR cubren solo las especificaciones de determinados tipos de robots, pero es necesario ampliar esos módulos para conseguir aumentar el uso del sistema.

Actualmente el autor está trabajando en un nuevo módulo para integrar el robot Home BoeBot de Parallax, [224], y su variante de SumoBot, [281], (Figura 7.1), dentro del módulo de integración de robots de ruedas ya existente. En este caso utilizando también como hardware para la AGI la placa Arduino UNO R3.

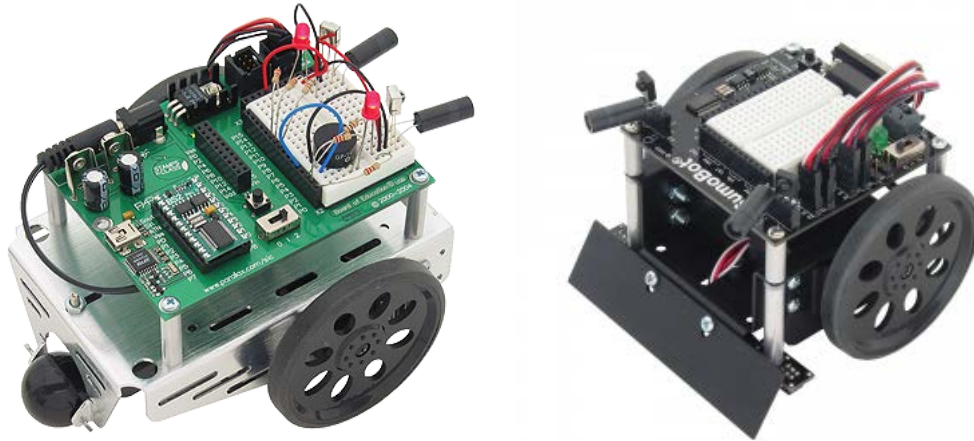


Figura 7.1. Home BoeBot (izquierda) y SumoBot (derecha) de Parallax.

Por otro lado existe una disciplina dentro de la robótica que recoge comportamientos robotizados en colmena o en base al comportamiento de otros robots de su entorno, [282]. También en breve se empezará a trabajar en esta línea con dos InsectBots (Figura 7.2) comercializados por DFRobot, [283], basados en la imitación de la naturaleza, [284], y controlados por una variante del Arduino Leonardo, [285], en concreto el “Beetle”, [286], cuyas características se han reducido hasta conseguir un tamaño de 20 mm de ancho y 22 mm de largo, permitiendo así una mejor capacidad de integración en robots de reducido tamaño.

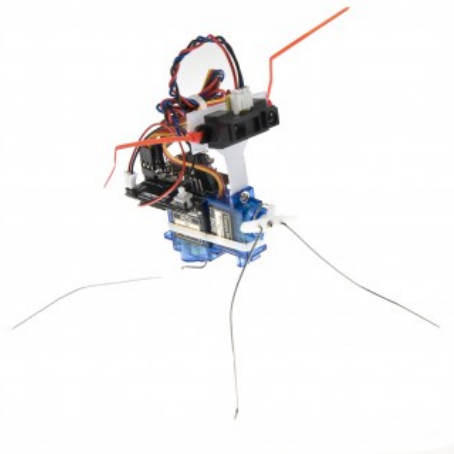


Figura 7.2. InsectBot comercializado por DFRobot.

Otra de las líneas de trabajo se centra en integrar robots comerciales del tipo Nao robot o Lego Mindstorm NTX, entre otros.

- Aumentar el número de módulos de hardware disponibles:

Actualmente respecto al hardware utilizado en la AGI, SiLaRR solo cuenta con la placa Arduino UNO R3. El objetivo a corto plazo es integrar también la placa Arduino Mega.

Progresivamente se procederá a ir integrando otras placas Arduino, alguna de ellas necesarias para la integración de otros equipos robotizados como

el InsectBot ya citado, como es el caso de la Arduino Leonardo y su variante “Beetle”.

Otra línea de trabajo es la creación de módulos específicos para la integración de otras placas de hardware libre, en concreto las dos que se consideraron en su momento como alternativas para la AGI, la Raspberry Pi y BeagleBone. Dadas las características de las mismas, con sistema operativo incorporado, pueden resultar útiles para convertir SiLaRR en un todo, capaz de ser transportado con facilidad. En este último caso, dado que inicialmente ambas placas utilizan variantes de sistemas operativos Linux la integración del sistema debería realizarse manualmente como ya se ha indicado en capítulos anteriores.

El objetivo de aumentar el número de módulos de este tipo es incrementar el número de laboratorios diferentes a integrar, ya sean o no de robótica, y con ello aumentar el uso de SiLaRR por parte de los usuarios interesados.

- Mejorar y aumentar los módulos para sistemas de comunicación, integración y acceso al sistema:

Los módulos de comunicaciones son una parte muy importante de SiLaRR. Actualmente el sistema solo cuenta con tres de ellos, serie/USB, Ethernet y Wi-Fi, y la opción de utilizar el serie con dispositivos Bluetooth en configuración COM.

El objetivo es añadir nuevos módulos de comunicaciones y en concreto individualizar el módulo Bluetooth para facilitar aún más su integración, y desarrollar un módulo para comunicación vía radiofrecuencia, algo muy útil para la interacción con algunos equipos robotizados como es el caso de los drones y otros equipos destinados a vigilancia aérea a distancia o al transporte, [53] (Figura 7.3).



Figura 7.3. Prototipo de dron para reparto, de la empresa Amazon.

7.2.2. Integrar módulos generalistas en el sistema

Durante el proceso de investigación de aplicaciones reales de SiLaRR, se diseñó un sistema de compilación de código fuente para utilizar directamente en el microprocesador de Arduino UNO R3. Inicialmente no se había previsto la integración en SiLaRR de módulos independientes, pero esta experiencia ha permitido comprobar la utilidad de este tipo de módulos.

Por ello otro de los objetivos a corto plazo es integrar el citado módulo para automatización y personalización del proceso de carga y compilación de código en Arduino UNO R3, permitiendo así utilizar librerías específicas para laboratorios concretos y evitar la dependencia del IDE de Arduino para proceder a cargar el código prediseñado por SiLaRR

Este tipo de mejoras permitiría independizar SiLaRR del software de terceros, con lo que, si resulta más eficiente se puede realizar el mismo proceso con otras herramientas de software que actualmente se facilitan con SiLaRR pero que de esta otra forma ya estarían integradas en él, sería el caso del propio servidor Apache o las herramienta de WampServer, o incluso Yawcam o VLC.

7.2.3. Desarrollar paquetes de laboratorios o gestionar laboratorios existentes

Por otro lado SiLaRR muestra la opción generalista de integración. Es evidente que una de las posibilidades que también ofrece es la personalización propia de la suite para que el sistema se utilice con un único laboratorio o con un único tipo de laboratorios.

Esta implementación está pensada con un enfoque más comercial y puede ser adoptada para promover el uso de SiLaRR por parte de empresas o instituciones o centros educativos, e incluso desde el propio DIEEC, desde los que se puede ofrecer un determinado laboratorio con el hardware incluido y un paquete de instalación, configuración y gestión de SiLaRR únicamente implementado para ese laboratorio.

La personalización en estos casos podría ir desde el tipo de módulos predefinidos a incluir, con modelos básicos o *premium*, hasta publicidad con logotipos del promotor del laboratorio o módulos pensados para el servicio de atención al cliente vinculados a noticias o redes sociales.

De la misma forma y para uso interno, SiLaRR se puede adaptar para diferentes laboratorios ya existentes, facilitando así la puesta en marcha de estos, configuración o actualización, sin necesidad de recurrir constantemente a las instrucciones de instalación de los mismos incluso de manera remota.

7.2.4. Desarrollar un repositorio de laboratorios que utilicen este sistema como modelo de integración

Durante este trabajo se ha explicado el concepto de laboratorios en anillo. SiLaRR permite utilizar laboratorios vinculados de manera que, si uno de ellos está ocupado, el sistema busca el siguiente, en el anillo, que esté libre o pone en espera al usuario para luego asignarle el laboratorio más cercano en el tiempo.

Esta funcionalidad no solo es válida a nivel interno sino que, dado que está gestionada por la base de datos de SiLaRR, permite extenderse a laboratorios compartidos por diferentes empresas, instituciones o centros educativos.

Esta posibilidad de implementación permitiría utilizar varios laboratorios, ya sean estos iguales o diferentes, vinculados a esa estructura de anillo. El resultado sería un ahorro de costes y un aumento de la eficiencia por laboratorio debido a un aumento en el ratio de uso del mismo.

7.2.5. Ofrecer e implementar este sistema en otros centros

Utilizando SiLaRR también se facilita la gestión general de laboratorios cedidos, o creados para diferentes usos y en diferentes centros:

➤ Centros educativos no universitarios:

Algunos centros educativos pueden querer utilizar SiLaRR pero no disponer de personal para ello. Se puede utilizar la gestión remota de SiLaRR para controlar los laboratorios una vez realizada la instalación.

El centro puede decidir el tipo de laboratorios a instalar o incluso si desea que su instalación de SiLaRR se despliegue en Internet o se mantenga solo en red local, o si desea añadir sus laboratorios a un sistema de laboratorios en anillo.

➤ Centros industriales y empresas:

Por motivos de eficiencia, ahorro de costes, temporalidad, o falta de personal, algunas empresas pueden estar interesadas en utilizar SiLaRR pero sin preocuparse de su gestión o mantenimiento.

Como en el caso anterior la versatilidad del sistema permite adecuarlo a las necesidades de cada empresa y utilizar los laboratorios dentro de una red local, desplegarlos en Internet incluso con fines comerciales o aprovechar la sinergia de un entorno de laboratorios en anillo dentro de la misma corporación o en colaboración con otras corporaciones.

Estas utilidades aumentarían el uso de SiLaRR y permitirán continuar mejorando el sistema haciéndolo más eficiente y aprovechando las economías de escala generadas.

7.2.6. Extender el uso del sistema a entornos de alta precisión: médicos, militares, de rescate, entre otros.

El aumento en el número de módulos y la posibilidad de personalización gracias a la flexibilidad de SiLaRR, convierte a este sistema en un instrumento adecuado para realizar ejercicios de control de equipos robotizados en ámbitos tan diversos como las operaciones de rescate o militares, o escenarios relacionados con la salud como equipamiento robotizado para análisis químico, o robots de cirugía. En todos los casos permitiría el control remoto de dicho equipo robotizado.

Dadas las características de estos entornos uno de los objetivos de SiLaRR se centra en incrementar su precisión y establecer en su software mecanismos de control para mejorar su velocidad de respuesta con los equipos robotizados que utilice.

Si bien las posibilidades de uso son variadas en este ámbito, antes de empezar a desplegar el sistema en dichos escenarios se requiere un mayor número de pruebas de uso y la implementación y desarrollo de módulos de seguridad adicionales.

Bibliografía

Bibliografía y páginas web de referencia

Referencias bibliográficas

- [1] P. Cobb, J. Confrey, A. diSessa, R. Lehrer y L. Schauble, "Design Experiments in Educational Research", *Educational Researcher*, vol. 32, pp. 9-13, 1 de enero de 2003. URL: <http://edr.sagepub.com/content/32/1/9.abstract>. Accesible el 15 de abril de 2014.
- [2] M. Chick, *Information Value and Cost Measures for use as Management Tools*. Washington; Washington: Special libraries assoc., 1990.
- [3] W. T. Lin, "The business value of information technology as measured by technical efficiency: Evidence from country-level data", *Decision Support Systems*, vol. 46, num. 4, marzo 2009, pp. 865-874, ISSN 0167-9236, <http://dx.doi.org/10.1016/j.dss.2008.11.017>, <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0167923608002182>. Accesible el 15 de abril de 2014.
- [4] H. L. Jones, S. Rock, Lt. D. Burns, y Dr. S. Morris, "Autonomous Robots in SWAT Applications: Research, Design, and Operations Challenges", [en línea]. Disponible en <http://www.spyplanes.com/pdf/SWATapps.pdf>. Accesible el 15 de abril de 2014.
- [5] iRobot, de la empresa Roomba, página web oficial [en línea]. Disponible en <http://www.irobot.com/>. Accesible el 15 de abril de 2014.
- [6] Paro, de la empresa AIST, página web del robot [en línea]. Disponible en <http://www.parorobots.com/>. Accesible el 15 de abril de 2014.
- [7] J. Forlizzi, "How Robotic Products Become Social Products: An Ethnographic Study of Robotic Products in the Home", [en línea]. Disponible en <http://goodgestreet.com/docs/forlizziRoomba.pdf>. Accesible el 15 de abril de 2014.
- [8] Siri, de la empresa Apple, página web oficial [en línea]. Disponible en <http://www.apple.com/es/ios/siri/>. Accesible el 15 de abril de 2014.
- [9] G. Carro Fernandez, S. M. Gutierrez, E. S. Ruiz, M. C. Gil, y F. M. Perez, "Formation in robotics, the key to integration in industrial environments", *Interactive Collaborative Learning (ICL), 2012 15th International Conference on*, vol., pp.1,4, 26-28 de septiembre de 2012 doi: 10.1109/ICL.2012.6402135 URL: <http://ieeexplore.ieee.org.ezproxy.uned.es/stamp/stamp.jsp?tp=&arnumber=6402135&isnumber=6402022>. Accesible el 15 de abril de 2014.
- [10] G. C. Fernandez, M. C. Gil, y F. M. Perez, "Remote robotic laboratory as nexus between students and real engineering", *Interactive Collaborative Learning (ICL), 2012*

15th International Conference on, vol., no., pp.1,4, 26-28 de septiembre de 2012 doi: 10.1109/ICL.2012.6402136 URL: <http://ieeexplore.ieee.org.ezproxy.uned.es/stamp/stamp.jsp?tp=&arnumber=6402136&isnumber=6402022>. Accesible el 15 de abril de 2014.

[11] S. Das, S. A. Yost, y M. Krishnan, "A 10-Year Mechatronics Curriculum Development Initiative: Relevance, Content, and Results-Part I", *IEEE Transactions on Education*, vol. 53, num. 2, pp. 194-201, mayo de 2010.

[12] G. Carro Fernandez, "Comunicación sin hilos como facilitador del aprendizaje presencial con robots y uso de entornos de simulación virtuales para robótica industrial". *Boletín electrónico de la IEEE Student Branch UNED*, no. 16 pp. 15-29, 1 de septiembre de 2011. ISSN: 1989-2195.URL: http://www.ieec.uned.es/ieee/investigacion/ieee_dieec/sb/boletin/Boletin16_092011.pdf. Accesible el 15 de abril de 2014.

[13] L. Hsin-Yu, W. Wen-June, y W. Rong-Jyue, "A Course in Simulation and Demonstration of Humanoid Robot Motion", *Education, IEEE Transactions on*, vol. 54, no. 2, pp. 255-262, mayo de 2011 doi: 10.1109/TE.2010.2051157 URL: <http://ieeexplore.ieee.org/stamp/stamp.jsp?tp=&arnumber=5483077&isnumber=5762417>. Accesible el 15 de abril de 2014.

[14] D. Chaos, J. Chacón, J. A. Lopez-Orozco y S. Dormido, "Virtual and Remote Robotic Laboratory Using EJS, MATLAB and LabVIEW," *Sensors*, pp. 2595, 2013.

[15] A. Balestrino, A. Caiti, y E. Crisostomi, "From Remote Experiments to Web-Based Learning Objects: An Advanced Telelaboratory for Robotics and Control Systems," *Industrial Electronics, IEEE Transactions on*, vol.56, num.12, pp.4817-4825, diciembre 2009 doi: 10.1109/TIE.2008.2006941 URL: <http://ieeexplore.ieee.org.ezproxy.uned.es/stamp/stamp.jsp?tp=&arnumber=4663705>. Accesible el 15 de abril de 2014.

[16] W. T. Lin y C. Chiang, "The impacts of country characteristics upon the value of information technology as measured by productive efficiency", *Int. J. Prod. Econ.*, vol. 132, pp. 13-33, 7, 2011.

[17] C. A. Jara, F. A. Candelas, S. T. Puente y F. Torres F, "Hands-on experiences of undergraduate students in Automatics and Robotics using a virtual and remote laboratory", *Computers & Education*, vol. 57, no. 4, pp. 2451-2461, diciembre 2011 doi:10.1016/j.compedu.2011.07.003 URL: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0360131511001515>. Accesible el 15 de abril de 2014.

[18] J. Mottok y A. Gardeia, "The Regensburg Concept of P-Seminars — How to organize the interface between secondary school and university education to create a didactic cooperation between teaching and learning of Software Engineering with Lego Mindstorms NXT Embedded Robot Systems," *Global Engineering Education Conference (EDUCON), 2011 IEEE*, pp. 917-920, 4-6 de abril de 2011 doi: 10.1109/EDUCON.2011.5773255 URL:

<http://ieeexplore.ieee.org/stamp/stamp.jsp?tp=&arnumber=5773255&isnumber=5773100>. Accesible el 15 de abril de 2014.

[19] B. Colwell, "Engineers, Programmers, and Black Boxes", *Computer*, vol.38, num.3, pp.8,11, marzo de 2005 doi: 10.1109/MC.2005.93 URL: <http://ieeexplore.ieee.org/stamp/stamp.jsp?tp=&arnumber=1413108&isnumber=30617>. Accesible el 15 de abril de 2014.

[20] G. Carro Fernandez, *Modelado de un sistema de control telemático para equipos robotizados (SICTER)*. Tesis de Máster. Escuela Técnica Superior de Ingenieros Industriales Universidad Nacional de Educación a Distancia (UNED). Madrid, 2012.

[21] G. Andria, A. Baccigalupi, M. Borsic, P. Carbone, P. Daponte, C. De Capua, A. Ferrero, D. Grimaldi, A. Liccardo, N. Locci, A. M. L. Lanzolla, D. Macii, C. Muscas, L. Peretto, D. Petri, S. Rapuano, M. Riccio, S. Salicone y F. Stefani, "Remote Didactic Laboratory "G. Savastano," The Italian Experience for E-Learning at the Technical Universities in the Field of Electrical and Electronic Measurement: Architecture and Optimization of the Communication Performance Based on Thin Client Technology," *Instrumentation and Measurement, IEEE Transactions on*, vol.56, num.4, pp.1124-1134, agosto de 2007, doi: 10.1109/TIM.2007.899983 URL: <http://ieeexplore.ieee.org.ezproxy.uned.es/stamp/stamp.jsp?tp=&arnumber=4276999>. Accesible el 15 de abril de 2014.

[22] G. Andria, A. Baccigalupi, M. Borsic, P. Carbone, P. Daponte, C. De Capua, A. Ferrero, D. Grimaldi, A. Liccardo, N. Locci, A. M. L. Lanzolla, D. Macii, C. Muscas, L. Peretto, D. Petri, S. Rapuano, M. Riccio, S. Salicone y F. Stefani, "Remote Didactic Laboratory "G. Savastano," The Italian Experience for E-Learning at the Technical Universities in the Field of Electrical and Electronic Measurements: Overview on Didactic Experiments," *Instrumentation and Measurement, IEEE Transactions on*, vol.56, num.4, pp.1135-1147, agosto de 2007, doi: 10.1109/TIM.2007.899995 URL: <http://ieeexplore.ieee.org.ezproxy.uned.es/stamp/stamp.jsp?tp=&arnumber=4277000>. Accesible el 15 de abril de 2014.

[23] J. Garcia-Zubia, D. Lopez-de-Ipía, P. Orduña, "Mobile Devices and Remote Labs in Engineering Education," *Advanced Learning Technologies, 2008. ICALT '08. Eighth IEEE International Conference on*, vol., no., pp.620-622, 1-5 de Julio de 2008 doi: 10.1109/ICALT.2008.303 URL: <http://ieeexplore.ieee.org.ezproxy.uned.es/stamp/stamp.jsp?tp=&arnumber=4561785>. Accesible el 15 de abril de 2014.

[24] M. E. Rosheim, *Leonardo's Lost Robots*. Ed. Springer, Heidelberg, 2006.

[25] V. R. Gonzalez, *Origen y desarrollo de la robótica*, Ministerio de Educación y Ciencia [en línea]. Disponible en http://platea.pntic.mec.es/vgonzale/cyr_0204/cyr_01/robotica/historia.htm. Accesible el 15 de abril de 2014.

[26] p. C. Watson, *Remote center compliance system*. Patente asignada a The Charles Stark Draper Laboratory, Inc. (Cambridge, MA). Registro de patentes de los Estados Unidos, número de solicitud: 05/732,286; 13 de octubre de 1976 [en línea]. Disponible

en <http://patft.uspto.gov/netacgi/nph-Parser?Sect2=PTO1&Sect2=HITOFF&p=1&u=/netahtml/PTO/search-bool.html&r=1&f=G&l=50&d=PALL&RefSrch=yes&Query=PN/4098001>. Accesible el 15 de abril de 2014.

[27] J. L. Molina Marticorena, *Historia de la robótica*, www.ProfesorMolina.com.ar [en línea]. Disponible en <http://www.profesormolina.com.ar/tecnologia/robotica/historia.htm>. Accesible el 15 de abril de 2014.

[28] F. Faggin, *The Intel 4004 Microprocessor and the Silicon Gate Technology* [en línea]. Disponible en <http://www.intel4004.com/>. Accesible el 15 de abril de 2014.

[29] Editorial, RIA Novosti; *Rusia abre laboratorio de robots para combate* [en línea]. Disponible en <http://sp.ria.ru/Defensa/20130624/157380597.html>. Accesible el 15 de abril de 2014.

[30] T. N. Beran, A. Ramirez-Serrano, R. Kuzyk, M. Fior y S. Nugent, "Understanding how children understand robots: Perceived animism in child-robot interaction," *International Journal of Human-Computer Studies*, vol. 69, pp. 539-550, 7, 2011.

[31] T. Nomura y A. Nakao, "Human evaluation of affective body motions expressed by a small-sized humanoid robot: Comparison between elder people and university students", *Robot and Human Interactive Communication, 2009. RO-MAN 2009. The 18th IEEE International Symposium on*, vol., no., pp.363,368, 27 de septiembre de 2009- 2 de octubre de 2009. doi: 10.1109/ROMAN.2009.5326270, URL: <http://ieeexplore.ieee.org.ezproxy.uned.es/stamp/stamp.jsp?tp=&arnumber=5326270&isnumber=5326035>. Accesible el 15 de abril de 2014.

[32] Maker Media, Inc.; página oficial Makermedia.com [en línea]. Disponible en <http://makermedia.com/>. Accesible el 15 de abril de 2014.

[33] Robots dreams; canal de Youtube dedicado a la robótica [en línea]. Disponible en <https://www.youtube.com/user/tempusmaster>. Accesible el 15 de abril de 2014.

[34] Global Online Laboratory Consortium (GOLC); página oficial www.online-lab.org [en línea]. Disponible en <http://www.online-lab.org/>. Accesible el 15 de abril de 2014.

[35] Portal de Tecnologías Educativas en el DIEEC de la UNED, página oficial <http://ohm.ieec.uned.es/portal/> [en línea]. Disponible en <http://ohm.ieec.uned.es/portal/>. Accesible el 15 de abril de 2014.

[36] M. A. Vicente Ripoll, C. Fernández Peris y R. P. Neco García, "Como incentivar a los alumnos en el estudio de teoría de circuitos", *Tecnologías Aplicadas a la Enseñanza de la Electrónica (TAAE)*, 2004, 14-16 de julio, Valencia. URL: <http://e-spacio.uned.es/fez/eserv.php?pid=taee:congreso-2004-1004&dsID=S1A04.pdf>. Accesible el 15 de abril de 2014.

[37] L. Rosado y J. R. Herreros, "Aportaciones didácticas de los laboratorios virtuales y remotos en la enseñanza de la física", *Tecnologías Aplicadas a la Enseñanza de la*

Electrónica (TAEE), 2004, 14-16 de julio, Valencia. URL: <http://e-spacio.uned.es:8080/fedora/get/taee:congreso-2004-1003/S1A03.pdf>. Accesible el 15 de abril de 2014.

[38] J. Anderson, S. Moreno, J. M. Ramirez Scarpetta y A. L. Valencia de Oro, “Desarrollo tecnológico de los laboratorios remotos de estructuras e ingeniería sísmica y dinámica estructural”; *Ciencia e Ingeniería Neogranadina*, Vol. 18-2, pp. 77-99. Bogotá, diciembre de 2008. ISSN 0124-8170. URL: http://www.researchgate.net/publication/28271956_Desarrollo_tecnologico_de_los_laboratorios_remotos_de_estructuras_e_ingenieria_ssmica_y_dinamica_estructural/file/60b7d522928c7bde0c.pdf. Accesible el 15 de abril de 2014.

[39] I. Calvo, E. Zulueta, U. Gangoiti y J. M. López, *Laboratorios remotos y virtuales en enseñanzas técnicas y científicas* [en línea]. Disponible en http://www.ehu.es/ikastorratza/3_alea/laboratorios.pdf. Accesible el 15 de abril de 2014

[40] E. I. Barakova, J. C. C. Gillesen, B. E. B. M. Huskens y T. Lourens, “End-user programming architecture facilitates the uptake of robots in social therapies,” *Robotics and Autonomous Systems*, vol. 61, num. 7, Julio de 2013, pp. 704-713, ISSN 0921-8890, <http://dx.doi.org/10.1016/j.robot.2012.08.001> (<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0921889012001182>). Accesible 15 de abril 2014.

[41] F. Cuellar, C. Penaloza y G. Kato, "Robotics Education Initiative for Parent-Children Interaction," *RO-MAN, 2013 IEEE*, vol., no., pp.364,365, 26-29 de Agosto de 2013 doi: 10.1109/ROMAN.2013.6628499 URL: <http://ieeexplore.ieee.org.ezproxy.uned.es/stamp/stamp.jsp?tp=&arnumber=6628499&isnumber=6628390>. Accesible el 15 de abril de 2014.

[42] M. Fridin, “Storytelling by a kindergarten social assistive robot: A tool for constructive learning in preschool education”, *Computers & Education*, vol. 70, enero de 2014, pp. 53-64, ISSN 0360-1315, <http://dx.doi.org/10.1016/j.compedu.2013.07.043> (<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S036013151300225X>). Accesible el 15 de abril de 2014.

[43] E. M. Jimenez Jojoa, E. C. Bravo y E. B. Bacca Cortes, "Tool for Experimenting With Concepts of Mobile Robotics as Applied to Children's Education", *Education, IEEE Transactions on*, vol.53, num.1, pp.88,95, febrero de 2010 doi: 10.1109/TE.2009.2024689 URL: <http://ieeexplore.ieee.org.ezproxy.uned.es/stamp/stamp.jsp?tp=&arnumber=5232817&isnumber=5405111>. Accesible el 15 de abril de 2014.

[44] H. M. Larin, C. W. Dennis y S. Stansfield, “Development of robotic mobility for infants: rationale and outcomes”, *Physiotherapy*, vol. 98, num. 3, septiembre de 2012, pp. 230-237, ISSN 0031-9406, <http://dx.doi.org/10.1016/j.physio.2012.06.005> (<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S003194061200065X>). Accesible el 15 de abril de 2014.

[45] H. Kozima, C. Nakagawa, y Y. Yasuda, “Children–robot interaction: a pilot study in autism therapy”, In: *C. von Hofsten and K. Rosander, Editor(s), Progress in Brain Research*, Elsevier, 2007, vol. 164, pp. 385-400, ISSN 0079-6123, ISBN

9780444530165, [http://dx.doi.org/10.1016/S0079-6123\(07\)64021-7](http://dx.doi.org/10.1016/S0079-6123(07)64021-7). (<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0079612307640217>). Accesible el 15 de abril de 2014.

[46] J. Mintz, "Additional key factors mediating the use of a mobile technology tool designed to develop social and life skills in children with Autism Spectrum Disorders: Evaluation of the 2nd HANDS prototype", *Computers & Education*, vol. 63, abril de 2013, Pages 17-27, ISSN 0360-1315, <http://dx.doi.org/10.1016/j.compedu.2012.11.006>. (<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0360131512002643>). Accesible el 15 de abril de 2014.

[47] S. Shamsuddin, H. Yussof, L. Idzhar Ismail, S. Mohamed, F. Akhtar Hanapiah y N. Ismarrubie Zahari, "Humanoid Robot NAO Interacting with Autistic Children of Moderately Impaired Intelligence to Augment Communication Skills", *Procedia Engineering*, vol. 41, 2012, pp. 1533-1538, ISSN 1877-7058, <http://dx.doi.org/10.1016/j.proeng.2012.07.346>. (<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1877705812027464>). Accesible el 15 de abril de 2014.

[48] J. Mottok, y A. Gardeia, "The Regensburg Concept of P-Seminars — How to organize the interface between secondary school and university education to create a didactic cooperation between teaching and learning of Software Engineering with Lego Mindstorms NXT Embedded Robot Systems", *Global Engineering Education Conference (EDUCON), 2011 IEEE*, pp. 917-920, 4-6 de abril de 2011 doi: 10.1109/EDUCON.2011.5773255 URL: <http://ieeexplore.ieee.org/stamp/stamp.jsp?tp=&arnumber=5773255&isnumber=5773100>. Accesible el 15 de abril de 2014.

[49] Jiaxin Han y Rongfang Gao, "Motivation and Training Program on Robotics Education", *Computational Intelligence and Software Engineering*, 2009. CiSE 2009. International Conference on, vol., no., pp.1,4, 11-13 Dec. 2009 doi: 10.1109/CISE.2009.5363272 URL: <http://ieeexplore.ieee.org.ezproxy.uned.es/stamp/stamp.jsp?tp=&arnumber=5363272&isnumber=5362501>. Accesible el 15 de abril de 2014.

[50] World Robotics 2013, *Executive Summary*, página web oficial en <http://www.worldrobotics.org/> [en línea]. Disponible en http://www.worldrobotics.org/uploads/media/Executive_Summary_WR_2013.pdf. Accesible el 15 de abril de 2014.

[51] C. Heyer, "Human-robot interaction and future industrial robotics applications", *Intelligent Robots and Systems (IROS), 2010 IEEE/RSJ International Conference on*, vol., no., pp.4749,4754, 18-22 de octubre de 2010. doi: 10.1109/IROS.2010.5651294 URL: <http://ieeexplore.ieee.org.ezproxy.uned.es/stamp/stamp.jsp?tp=&arnumber=5651294&isnumber=5648787>. Accesible el 15 de abril de 2014.

[52] L. Donghun, "Robots in the shipbuilding industry", *Robotics and Computer-Integrated Manufacturing*, vol. 30, num. 5, octubre de 2014, pp. 442-450, ISSN 0736-5845, <http://dx.doi.org/10.1016/j.rcim.2014.02.002>. (<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0736584514000131>)

- [53] Amazon Prime Air; página oficial en amazon.com. Disponible en <http://www.amazon.com/b?node=8037720011>. Accesible el 15 de abril de 2014.
- [54] J. Dietsch, "People Meeting Robots in the Workplace [Industrial Activities]," *Robotics & Automation Magazine*, IEEE, vol.17, no.2, pp.15,16, junio de 2010. doi: 10.1109/MRA.2010.936950 URL: <http://ieeexplore.ieee.org.ezproxy.uned.es/stamp/stamp.jsp?tp=&arnumber=5481097&isnumber=5480272>. Accesible el 15 de abril de 2014.
- [55] S. Hirai, "Robotics as a social technology", *Mechatronics and Automation, 2009. ICMA 2009. International Conference on*, vol., no., pp.xl,xli, 9-12 de Agosto de 2009. doi: 10.1109/ICMA.2009.5246471 URL: <http://ieeexplore.ieee.org.ezproxy.uned.es/stamp/stamp.jsp?tp=&arnumber=5246471&isnumber=5244759>. Accesible el 15 de abril de 2014.
- [56] N. King, M. Bechthold, A. Kane y P. Michalatos, "Robotic tile placement: Tools, techniques and feasibility", *Automation in Construction*, vol. 39, 1 de abril de 2014, pp. 161-166, ISSN 0926-5805, <http://dx.doi.org/10.1016/j.autcon.2013.08.014>. (<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0926580513001283>). Accesible el 15 de abril de 2014.
- [57] M. F. Silva, "An industrial robotics course based on a graphical simulation package", *Engineering Education (CISPEE), 2013 1st International Conference of the Portuguese Society for*, vol., no., pp.1,7, 31 de octubre de 2013-1 de noviembre de 2013 doi: 10.1109/CISPEE.2013.6701992 URL: <http://ieeexplore.ieee.org.ezproxy.uned.es/stamp/stamp.jsp?tp=&arnumber=6701992&isnumber=6701950>. Accesible el 15 de abril de 2014.
- [58] CIROS; página web oficial [en línea]. Disponible en: <http://www.ciros-engineering.com>. Accesible el 15 de abril de 2014.
- [59] FESTO; página web oficial [en línea]. Disponible en <http://www.festo-didactic.com>. Accesible el 15 de abril de 2014.
- [60] U. Karras, *Festo* [en línea]. Festo Didactic GmbH & Co. KG. Denkendorf, 2010. Disponible en: http://www.festo-didactic.com/ov3/media/customers/1100/ciros_robotics_manual_es.pdf. Accesible el 15 de abril de 2014.
- [61] ARENA Simulation, página oficial [en línea]. Disponible en: <http://www.arenasimulation.com/>. Accesible el 15 de abril de 2014.
- [62] Rockwell Automation, página oficial [en línea]. Disponible en: <http://www.rockwellautomation.com/>. Accesible el 15 de abril de 2014.
- [63] FleXSim, página oficial [en línea]. Disponible en: <http://www.flexsim.com> Accesible el 15 de abril de 2014.

[64] Webots, página oficial [en línea]. Disponible en: <http://www.cyberbotics.com>. Accesible el 15 de abril de 2014.

[65] Entradas referentes a Webots en IEEE *Xplore* Digital Library. Disponible en http://ieeexplore.ieee.org/search/searchresult.jsp?queryText%3DWebots&sortType=desc_p_Publication_Year&pageNumber=1&resultAction=SORT. Accesible el 15 de abril de 2014.

[66] Entradas referentes a Webots en ACM Digital Library. Disponible en http://dl.acm.org/results.cfm?query=%28Webots%29%20and%20%28Abstract%3AWebots%29&querydisp=%28Webots%29%20and%20%28Abstract%3AWebots%29&srt=meta_published_date%20dsc&short=0&coll=DL&dl=GUIDE&source_disp=&source_query=Webots&since_month=&since_year=&before_month=&before_year=&termshow=matchboolean&range_query=&zadv=1. Accesible el 15 de abril de 2014.

[67] Entradas referentes a Webots en Springer. Disponible en <http://link.springer.com/search?query=Webots&sortOrder=newestFirst>. Accesible el 15 de abril de 2014.

[68] Entradas referentes a Webots en MIT Press Journals. Disponible en <http://www.mitpressjournals.org/action/doSearch?type=advanced&target=advanced&field1=authors&text1=&logicalOpe1=AND&field2=articletitle&text2=&logicalOpe2=AND&field3=all&text3=Webots&search.x=21&search.y=15&history=&categoryId=all&filter=multiple&AfterYear=&BeforeYear=&sortBy=date&displaySummary=false&nh=20&>. Accesible el 15 de abril de 2014.

[69] Aldebaran Robotics, página oficial [en línea]. Disponible en: <http://www.aldebaran.com>. Accesible el 15 de abril de 2014.

[70] KUKA Robotics, página oficial [en línea]. Disponible en: <http://www.kuka-robotics.com/>. Accesible el 15 de abril de 2014.

[71] Global Online Consortium (GOLC), wiki oficial [en línea]. Disponible en: <https://wikis.mit.edu/confluence/display/GOLC/Home>. Accesible el 15 de abril de 2014.

[72] Labshare, página oficial [en línea]. Disponible en: <http://www.labshare.edu.au/>. Accesible el 15 de abril de 2014.

[73] iLabCentral, página oficial [en línea]. Disponible en: <http://www.ilabcentral.org/>. Accesible el 15 de abril de 2014.

[74] WebLab-Deusto, página oficial [en línea]. Disponible en: <http://www.weblab.deusto.es/website/>. Accesible el 15 de abril de 2014.

[75] NetLab, página oficial [en línea]. Disponible en: <http://netlab.unisa.edu.au/index.xhtml>. Accesible el 15 de abril de 2014.

[76] Software disponible de WebLab-Deusto; página oficial [en línea]. Disponible en <http://github.com/weblabdeusto/weblabdeusto/>. Accesible el 15 de abril de 2014.

- [77] PR2 Remote Lab; página oficial [en línea]. Disponible en <http://pr2-remotelab.com/>. Accesible el 15 de abril de 2014.
- [78] Robot Management System (RMS); página oficial [en línea]. Disponible en <http://wiki.ros.org/rms/>. Accesible el 15 de abril de 2014.
- [79] RAIL; página oficial [en línea]. Disponible en <http://web.cs.wpi.edu/~rail/>. Accesible el 15 de abril de 2014.
- [80] Worcester Polytechnic Institute; página oficial [en línea]. Disponible en <https://www.wpi.edu>. Accesible el 15 de abril de 2014.
- [81] Robot Web Tools Project; página oficial [en línea]. Disponible en <http://robotwebtools.org>. Accesible el 15 de abril de 2014.
- [82] Robot Operating System; página oficial [en línea]. Disponible en <http://wiki.ros.org>. Accesible el 15 de abril de 2014.
- [83] National Instruments; página oficial [en línea]. Disponible en <http://www.ni.com/>. Accesible el 15 de abril de 2014.
- [84] MathWorks; página oficial [en línea]. Disponible en www.mathworks.com. Accesible el 15 de abril de 2014.
- [85] Simulink Coder; página oficial [en línea]. Disponible en <http://www.mathworks.es/products/simulink-coder/>. Accesible el 15 de abril de 2014.
- [86] MatLab Builder NE; página oficial [en línea]. Disponible en <http://www.mathworks.es/products/netbuilder/>. Accesible el 15 de abril de 2014.
- [87] MatLab Builder JA; página oficial [en línea]. Disponible en <http://www.mathworks.es/products/javabuilder/>. Accesible el 15 de abril de 2014.
- [88] MatLab Web Application; página oficial [en línea]. Disponible en <http://www.mathworks.es/desktop-web-deployment/deploying-code-web-application.html>. Accesible el 15 de abril de 2014.
- [89] MatLab Web Server; página oficial [en línea]. Disponible en http://www.mathworks.es/products/new_products/webserver_discontinued.html?s_cid=r2006b_webserver. Accesible el 15 de abril de 2014.
- [90] Soporte de MatLab para Arduino; página oficial [en línea]. Disponible en <http://www.mathworks.es/hardware-support/arduino-matlab.html>. Accesible el 15 de abril de 2014.
- [91] Soporte de MatLab para Raspberry Pi; página oficial [en línea]. Disponible en <http://www.mathworks.es/hardware-support/raspberry-pi.html>. Accesible el 15 de abril de 2014.

- [92] Soporte de MatLab para BeagleBoard; página oficial [en línea]. Disponible en <http://www.mathworks.es/hardware-support/beagleboard.html>. Accesible el 15 de abril de 2014.
- [93] Soporte de MatLab para Lego Mindstorm; página oficial [en línea]. Disponible en <http://www.mathworks.es/hardware-support/lego-mindstorms-matlab.html>. Accesible el 15 de abril de 2014.
- [94] Soporte de MatLab para robots NAO; página oficial [en línea]. Disponible en <http://www.mathworks.es/hardware-support/nao-robot-matlab.html>. Accesible el 15 de abril de 2014
- [95] Versión educativa de MatLab; página oficial. Disponible en http://www.mathworks.es/academia/student_version/. Accesible el 15 de abril de 2014.
- [96] Soporte de LabVIEW para Arduino; página oficial [en línea]. Disponible en <http://sine.ni.com/nips/cds/view/p/lang/es/nid/209835>. Accesible el 15 de abril de 2014.
- [97] Compatibilidad de LabVIEW con Arduino UNO; página oficial [en línea]. Disponible en <http://digital.ni.com/public.nsf/allkb/677A0D3EF79BDA8D8625786F0080969D>. Accesible el 15 de abril de 2014.
- [98] Foro de Arduino de National Instruments; página oficial [en línea]. Disponible en <https://decibel.ni.com/content/groups/LabVIEW-interface-for-arduino>. Accesible el 15 de abril de 2014.
- [99] Foro de National Instruments sobre Raspberry Pi; página oficial [en línea]. Disponible en <http://forums.ni.com/t5/LabVIEW/LV-Support-for-Raspberry-Pi/td-p/1895035>. Accesible el 15 de abril de 2014.
- [100] USB DAQ Driver de National Instruments; página oficial [en línea]. Disponible en <https://decibel.ni.com/content/docs/DOC-25806>. Accesible el 15 de abril de 2014.
- [101] Botspeak; página oficial [en línea]. Disponible en <https://sites.google.com/site/botspeak/host-languages/LabVIEW-drivers>. Accesible el 15 de abril de 2014.
- [102] Soporte de LabVIEW para Lego Mindstorm; página oficial [en línea]. Disponible en <http://sine.ni.com/nips/cds/view/p/lang/es/nid/210666>. Accesible el 15 de abril de 2014.
- [103] Kit de prototipos de robótica de LabVIEW; página oficial [en línea]. Disponible en <http://sine.ni.com/nips/cds/view/p/lang/es/nid/208010>. Accesible el 15 de abril de 2014.
- [104] Plataforma de LabVIEW para iRobot; página web oficial [en línea]. Disponible en <http://sine.ni.com/nips/cds/view/p/lang/es/nid/210232>. Accesible el 15 de abril de 2014.

[105] Meckstroth, M.; *Robotics 4-1-1: Four Platforms for One Prototype in One Month or Less* [en línea]. Disponible en <http://www.ni.com/white-paper/9079/en/>. Accesible el 15 de abril de 2014.

[106] National Instruments; *How to Navigate the LabVIEW Learning Curve* [en línea]. Disponible en <http://www.ni.com/white-paper/13120/en/>. Accesible el 15 de abril de 2014.

[107] G. Carro Fernandez, S. M. Gutierrez, E. S. Ruiz, F. Mur Perez y M. Castro Gil, "Robotics, the New Industrial Revolution", *Technology and Society Magazine*, IEEE, vol.31, num.2, pp.51,58, verano de 2012 doi: 10.1109/MTS.2012.2196595 URL: <http://ieeexplore.ieee.org/stamp/stamp.jsp?tp=&arnumber=6213867&isnumber=6213848>. Accesible el 15 de abril de 2014.

[108] A. De Santis, B. Siciliano, A. De Luca y A. Bicchi, "An atlas of physical human-robot interaction", *Mechanism and Machine Theory*, vol. 43, pp. 253-270, 3, 2008.

[109] S. Harris, "Robots are coming [Utopias Manufacturing]", *Engineering & Technology*, vol.9, no.1, pp.48,50, febrero de 2014 doi: 10.1049/et.2014.0103, URL: <http://ieeexplore.ieee.org/stamp/stamp.jsp?tp=&arnumber=6734529&isnumber=6734243>. Accesible el 15 de abril de 2014.

[110] A. B. Kahng, "Scaling: More than Moore's law," *Design & Test of Computers*, IEEE , vol.27, no.3, pp.86,87, mayo-junio de 2010 doi: 10.1109/MDT.2010.71, URL: <http://ieeexplore.ieee.org.ezproxy.uned.es/stamp/stamp.jsp?tp=&arnumber=5465130&isnumber=5465119>. Accesible el 15 de abril de 2014.

[111] M. A. Vouk, "Cloud computing — Issues, research and implementations", *Information Technology Interfaces, 2008. ITI 2008. 30th International Conference on*, vol., no., pp.31,40, 23-26 de junio de 2008 doi: 10.1109/ITI.2008.4588381, URL: <http://ieeexplore.ieee.org.ezproxy.uned.es/stamp/stamp.jsp?tp=&arnumber=4588381&isnumber=4588363>. Accesible el 15 de abril de 2014.

[112] Weiqiang Sun; Fengqin Li; Wei Guo; Yaohui Jin; Weisheng Hu, "Store, schedule and switch - A new data delivery model in the big data era", *Transparent Optical Networks (ICTON), 2013 15th International Conference on*, vol., no., pp.1,4, 23-27 de junio de 2013, doi: 10.1109/ICTON.2013.6602860 URL: <http://ieeexplore.ieee.org.ezproxy.uned.es/stamp/stamp.jsp?tp=&arnumber=6602860&isnumber=6602671>. Accesible el 15 de abril de 2014.

[113] R. Capurro, *Ethics and robotics. An intercultural perspective*, Steinbeis Transfer Institute – Information Ethics, Alemania, 13 de Julio de 2009; <http://sti-ie.de>. Accesible el 15 de abril de 2014.

[114] P. Lin, K. Abney y G. Bekey, "Robot ethics: Mapping the issues for a mechanized world", *Artificial Intelligence*, vol. 175, num. 5–6, abril de 2011, pp. 942-949, ISSN 0004-3702, <http://dx.doi.org/10.1016/j.artint.2010.11.026>. (<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0004370211000178>). Accesible el 15 de abril de 2014.

- [115] J. S. Heywood, M. McGinty, "Scale economies, consistent conjectures and teams", *Economics Letters*, vol. 117, num. 3, diciembre de 2012, pp. 566-568, ISSN 0165-1765, <http://dx.doi.org/10.1016/j.econlet.2012.07.027>. (<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0165176512004211>). Accesible el 15 de abril de 2014.
- [116] C. Paunov, "The global crisis and firms' investments in innovation", *Research Policy*, vol. 41, num. 1, febrero de 2012, pp. 24-35, ISSN 0048-7333, <http://dx.doi.org/10.1016/j.respol.2011.07.007>. (<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0048733311001429>). Accesible el 15 de abril de 2014.
- [117] D. Archibugi, A. Filippetti y M. Frenz, M.; "Economic crisis and innovation: Is destruction prevailing over accumulation?", *Research Policy*, vol. 42, num. 2, marzo de 2013, Pages 303-314, ISSN 0048-7333, <http://dx.doi.org/10.1016/j.respol.2012.07.002>. (<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S004873331200162X>). Accesible el 15 de abril de 2014.
- [118] M. Janssen y E. Estevez, "Lean government and platform-based governance—Doing more with less", *Government Information Quarterly*, vol. 30, suplemento 1, enero de 2013, pp. S1-S8, ISSN 0740-624X, <http://dx.doi.org/10.1016/j.giq.2012.11.003>. (<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0740624X12001517>). Accesible el 15 de abril de 2014.
- [119] R. Pérez-Estébanez, "Las Tecnologías de la Información y la Comunicación (TIC) se consolidan en las empresas españolas a pesar de la crisis económica: Análisis comparativo entre 2005 y 2009," *Cuadernos De Contabilidad*, vol. 13, pp. 479-499, 2012-12, 2012.
- [120] P. Chakravartty y J. D. H. Downing, "Media, Technology, and the Global Financial Crisis", *International Journal of Communication*, vol. 4, pp. 693-695, 2010, 2010.
- [121] C. Balaguer, A. Barrientos, J. A. Castellanos, A. García-Cerezo, J. R. Martínez-de Dios, P. J. Sanz, R. Sanz, y E. Zalama, *El libro blanco de la robótica en España : Investigación, tecnologías y formación*. Madrid: Ministerio de Educación y Ciencia : CEA-GTRob, Comité Español de Automática, 2011. URL: http://www.ceautomatica.es/sites/default/files/upload/10/files/LIBRO%20BLANCO%20DE%20LA%20ROBOTICA%20_v2.pdf Accesible el 15 de abril de 2014.
- [122] D. B. Bills, R. Hodson, "Worker training: A review, critique, and extension, Research in Social Stratification and Mobility", vol. 25, num. 4, diciembre de 2007, Pages 258-272, ISSN 0276-5624, <http://dx.doi.org/10.1016/j.rssm.2007.08.005>. (<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0276562407000492>). Accesible el 15 de abril de 2014.
- [123] J. Pénin, "Strategic uses of patents in markets for technology: A story of fabless firms, brokers and trolls", *Journal of Economic Behavior & Organization*, vol. 84, num. 2, noviembre de 2012, pp. 633-641, ISSN 0167-2681, <http://dx.doi.org/10.1016/j.jebo.2012.09.007>. (<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0167268112001734>). Accesible el 15 de abril de 2014.

- [124] L. Gao, A. L. Porter, J. Wang, S. Fang, X. Zhang, T. Ma, W. Wang y L. Huang, "Technology life cycle analysis method based on patent documents", *Technological Forecasting and Social Change*, vol. 80, num. 3, marzo 2013, pp. 398-407, ISSN 0040-1625, <http://dx.doi.org/10.1016/j.techfore.2012.10.003>. (<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0040162512002478>). Accesible el 15 de abril de 2014.
- [125] K. Wilburn y R. Wilburn, "The double bottom line: Profit and social benefit", *Business Horizons*, vol. 57, num. 1, enero-febrero de 2014, pp. 11-20, ISSN 0007-6813, <http://dx.doi.org/10.1016/j.bushor.2013.10.001>. (<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0007681313001729>). Accesible el 15 de abril de 2014.
- [126] G. Carro Fernandez, E. S. Ruiz, S. Martin Gutierrez, M. Castro Gil y F. Mur Perez, "Flexibility of wireless technologies in learning in robotic laboratories", *Global Engineering Education Conference (EDUCON), 2012 IEEE*, vol., no., pp.1,5, 17-20 abril de 2012 doi: 10.1109/EDUCON.2012.6201060 URL: <http://ieeexplore.ieee.org.ezproxy.uned.es/stamp/stamp.jsp?tp=&arnumber=6201060&isnumber=6201007>. Accesible el 15 de abril de 2014.
- [127] D. L. Okopnik y R. Falate, "Usage of the DFRobot RB-DFR-49 Infrared Sensor to detect maize seed passage on a conveyor belt", *Computers and Electronics in Agriculture*, vol. 102, marzo 2014, pp. 106-111, ISSN 0168-1699, <http://dx.doi.org/10.1016/j.compag.2014.01.012>. (<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0168169914000258>). Accesible el 15 de abril de 2014.
- [128] K. Shirahada y K. Hamazaki, "Trial and error mindset of R&D personnel and its relationship to organizational creative climate", *Technological Forecasting and Social Change*, vol. 80, num. 6, Julio de 2013, pp. 1108-1118, ISSN 0040-1625, <http://dx.doi.org/10.1016/j.techfore.2012.09.005>. (<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S004016251200217X>). Accesible el 15 de abril de 2014.
- [129] D. Rich, *The Bologna Process in European Higher Education*, In International Encyclopedia of Education (Third Edition), edited by Penelope Peterson, Eva Baker and Barry McGaw, Elsevier, Oxford, 2010, Pages 566-572, ISBN 9780080448947, <http://dx.doi.org/10.1016/B978-0-08-044894-7.00848-4>. (<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/B9780080448947008484>). Accesible el 15 de abril de 2014.
- [130] K. V. Pozos Pérez y O. Mas Torelló, "The Digital Competence as a Cross-cutting Axis of Higher Education Teachers' Pedagogical Competences in the European Higher Education Area", *Procedia - Social and Behavioral Sciences*, vol. 46, 2012, pp. 1112-1116, ISSN 1877-0428, <http://dx.doi.org/10.1016/j.sbspro.2012.05.257>. (<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1877042812013869>). Accesible el 15 de abril de 2014.
- [131] J. A. Lara, D. Lizcano, M. A. Martínez, J. Pazos, y T. Riera, "A system for knowledge discovery in e-learning environments within the European Higher Education Area – Application to student data from Open University of Madrid, UDIMA", *Computers & Education*, vol. 72, marzo de 2014, pp. 23-36, ISSN 0360-1315,

<http://dx.doi.org/10.1016/j.compedu.2013.10.009>. (<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0360131513002947>). Accesible el 15 de abril de 2014.

[132] Referencias sobre Arduino en IEEE Xplore Digital Library [en línea]. Disponible en <http://ieeexplore.ieee.org.ezproxy.uned.es/search/searchresult.jsp?newsearch=true&queryText=Arduino>. Accesible el 15 de abril de 2014.

[133] K. A. Hribernik, Z. Ghrairi, C. Hans y K. D., "Co-creating the Internet of Things — First experiences in the participatory design of Intelligent Products with Arduino", *Concurrent Enterprising (ICE), 2011 17th International Conference on*, vol., no., pp.1,9, 20-22 de junio de 2011 URL: <http://ieeexplore.ieee.org.ezproxy.uned.es/stamp/stamp.jsp?tp=&arnumber=6041235&isnumber=6041188>. Accesible el 15 de abril de 2014.

[134] N. Dlodlo, y A. C. Smith, "The Internet-of-things in remote-controlled laboratories", *Proceedings of the 13th Annual Conference on World Wide Web Applications* Johannesburg, 14-16 de septiembre de 2011 (<http://www.zaw3.co.za>) ISBN: 978-0-620-51918-2. Disponible en http://researchspace.csir.co.za/dspace/bitstream/10204/5340/1/Dlodlo4_2011.pdf. Accesible el 15 de abril de 2014.

[135] Arduino, página web oficial. Disponible en <http://arduino.cc>. Accesible el 15 de abril de 2014.

[136] ATmega328, *Datasheet*, página web oficial. Disponible en: http://www.atmel.com/dyn/resources/prod_documents/doc8161.pdf. Accesible el 15 de abril de 2014.

[137] Wikipedia, *Arduino*. Disponible en <http://es.wikipedia.org/wiki/Arduino>. Accesible el 15 de abril de 2014.

[138] *Datasheet* de Arduino UNO R3, página web oficial. Disponible en http://arduino.cc/en/uploads/Main/Arduino_Uno_Rev3-schematic.pdf. Accesible el 15 de abril de 2014.

[139] PCduino, página web oficial. Disponible en <http://www.pcduino.com/>. Accesible el 15 de abril de 2014.

[140] Freeduino, página web oficial. Disponible en <http://www.freeduino.org/>. Accesible el 15 de abril de 2014.

[141] Wikipedia, *Raspberry Pi*. Disponible en http://es.wikipedia.org/wiki/Raspberry_Pi. Accesible el 15 de abril de 2014.

[142] Raspberry Pi, página oficial. Disponible en <http://www.raspberrypi.org/>. Accesible el 15 de abril de 2014.

[143] M. Richardson, S. Wallace, *Getting started with Raspberry Pi*. Ed. O'Reilly Media, Inc., primera edición. ISBN: 978-1-449-34421-4. California, EE.UU., 2012.

- [144] BBC, *Raspberry Pi: Teaching computer program and coding skills*. Disponible en <http://www.bbc.com/news/uk-politics-24382016>. Accesible el 15 de abril de 2014.
- [145] BeagleBoard, página web oficial. Disponible en <http://beagleboard.org/>. Accesible el 15 de abril de 2014.
- [146] Wikipedia, *BeagleBoard*. Disponible en <http://en.wikipedia.org/wiki/BeagleBoard>. Accesible el 15 de abril de 2014.
- [147] BeagleBone, página web oficial. Disponible en <http://beagleboard.org/Products/BeagleBone%20Black>. Accesible el 15 de abril de 2014.
- [148] M. Richardson, *Getting started with BeagleBone*. Ed. O'Reilly Media, Inc., primera edición. ISBN: 978-1-449-34537-2. California, EE.UU., 2013
- [149] A. Allan, *Arduino Uno vs BeagleBone vs Raspberry Pi*, [en línea]. Disponible en <http://makezine.com/2013/04/15/arduino-uno-vs-beaglebone-vs-raspberry-pi/>. Accesible el 15 de abril de 2014.
- [150] Apache Server, página web oficial. Disponible en <http://httpd.apache.org/>. Accesible el 15 de abril de 2014.
- [151] PHP, página web oficial. Disponible en <http://www.php.net/>. Accesible el 15 de abril de 2014.
- [152] Página oficial de la licencia GPLv3: <http://gplv3.fsf.org/> . Accesible el 1 de Septiembre de 2012.
- [153] MySQL, página web oficial. Disponible en <http://www.mysql.com/>. Accesible el 15 de abril de 2014.
- [154] WampServer, página web oficial. Disponible en <http://www.WampServer.com/en/>. Accesible el 15 de abril de 2014.
- [155] Netbeans Developer Tool IDE, página web oficial. Disponible en <https://netbeans.org/>. Accesible el 15 de abril de 2014.
- [156] Java, página web oficial. Disponible en <https://www.java.com/en/about/>. Accesible el 15 de abril de 2014.
- [157] Inno Setup, página web oficial. Disponible en <http://www.jrsoftware.org/>. Accesible el 15 de abril de 2014.
- [158] Delphi, página web oficial. Disponible en <http://www.delphibasics.co.uk/>. Accesible el 15 de abril de 2014.
- [159] JSmooth, página web oficial. Disponible en <http://jsmooth.sourceforge.net/>. Accesible el 15 de abril de 2014.

- [160] Notepad++, página web oficial. Disponible en <http://notepad-plus-plus.org/>. Accesible el 15 de abril de 2014.
- [161] jQuery y jQuery Mobile, página web oficial. Disponible en <http://jquery.com/>. Accesible el 15 de abril de 2014.
- [162] Open Source Red5 Media Server, página web oficial. Disponible en <http://www.red5.org/>. Accesible el 14 de abril de 2014.
- [163] Adobe Flash, página web oficial. Disponible en <http://www.adobe.com/es/products/flash>. Accesible el 15 de abril de 2014.
- [164] S. Jobs, *Thoughts on Flash*, página oficial de Apple. Disponible en <http://www.apple.com/hotnews/thoughts-on-flash/>. Accesible el 15 de abril de 2014.
- [165] Wikipedia, *H.264*. Disponible en <http://es.wikipedia.org/wiki/H.264>. Accesible el 15 de abril de 2014.
- [166] Wikipedia, *H.265*. Disponible en <http://es.wikipedia.org/wiki/H.265>. Accesible el 15 de abril de 2014.
- [167] *Streaming* de vídeo chat en Adobe Flash, página web oficial. Disponible en http://www.adobe.com/devnet/adobe-media-server/articles/beginner_live_fms3.html. Accesible el 15 de abril de 2014.
- [168] W3C, página web oficial. Disponible en <http://www.w3.org/>. Accesible el 15 de abril de 2014.
- [169] *getUserMedia* en HTML5. Disponible en <http://dev.w3.org/2011/webrtc/editor/archives/20140321/getusermedia.html>. Accesible el 15 de abril de 2014.
- [170] Video chat con *getUserMedia*. Disponible en <http://dev.w3.org/2011/webrtc/editor/getusermedia.html#examples>. Accesible el 15 de abril de 2014.
- [171] Compatibilidad de formatos de vídeo en HTML5. Disponible en http://www.w3schools.com/html/html5_video.asp. Accesible el 15 de abril de 2014.
- [172] JWPlayer, página web oficial. Disponible en <http://www.jwplayer.com/>. Accesible el 15 de abril de 2014.
- [173] WebRTC, página web oficial. Disponible en <http://www.webrtc.org/>. Accesible el 15 de abril de 2014.
- [174] Webcamjs, página web oficial. Disponible en <https://github.com/jhuckaby/webcamjs>. Accesible el 15 de abril de 2014.
- [175] VideoLan página web oficial. Disponible en <http://www.videolan.org/vlc/>. Accesible el 15 de abril de 2014.

- [176] Wiki de VLC, página oficial. Disponible en https://wiki.videolan.org/Simple_Stream_VLC_to_Website#Limitations. Accesible el 15 de abril de 2014.
- [177] Configuración de Apache en WampServer, página oficial. Disponible en <http://www.hotscripts.com/forums/php/19331-using-php-echo-asx-media-files.html>. Accesible el 15 de abril de 2014.
- [178] Yawcam, página oficial. Disponible en <http://www.yawcam.com/>. Accesible el 15 de abril de 2014.
- [179] Wikipedia, *Puerto serie*. Disponible en http://es.wikipedia.org/wiki/Puerto_serie. Accesible el 15 de abril de 2014.
- [180] Modelo de Arduino Serie, página web oficial. Disponible en <http://arduino.cc/en/Main/ArduinoBoardSerial>. Accesible el 15 de abril de 2014.
- [181] Wikipedia, *RS-232*. Disponible en <http://en.wikipedia.org/wiki/RS232>. Accesible el 15 de abril de 2014.
- [182] Wikipedia, *USB*. Disponible en <http://es.wikipedia.org/wiki/USB>. Accesible el 15 de abril de 2014.
- [183] Wikipedia, *COM*. Disponible en [http://en.wikipedia.org/wiki/COM_\(hardware_interface\)](http://en.wikipedia.org/wiki/COM_(hardware_interface)). Accesible el 15 de abril de 2014.
- [184] Foros de Arduino, página web oficial. Disponible en <http://forum.arduino.cc/>. Accesible el 15 de abril de 2014.
- [185] Arduino. Referencias al problema del *reset*, página web oficial. Disponible en <http://arduino.cc/en/ArduinoBoardUno#.UxxTvPI5M8A>. Accesible el 15 de abril de 2014.
- [186] Arduino. Soluciones hardware para problema del *reset*. Disponible en http://playground.arduino.cc/Main/DisablingAutoResetOnSerialConnection#.UxxO_I5M8A. Accesible el 15 de abril de 2014.
- [187] Arduino. Últimas referencias para el problema del *reset*. Disponible en <http://forum.arduino.cc/index.php?PHPSESSID=ibcft1p46a8p4rlriqj4mfad57&topic=22974.60>. Accesible el 15 de abril de 2014.
- [188] Wikipedia, “Sistema de alimentación ininterrumpida”. Disponible en http://es.wikipedia.org/wiki/Sistema_de_alimentaci%C3%B3n_ininterrumpida. Accesible el 15 de abril de 2014.
- [189] Digi, *I have phantom serial ports in Windows XP. How can I remove them?* [en línea]. Disponible en www.digi.com/support/kbase/kbaseresultdetl?id=274. Accesible el 15 de abril de 2014.

- [190] Digi, *Removing or changing unused COM Ports from Windows* [en línea]. Disponible en www.digi.com/support/kbase/kbaseresultdetl?id=3308. Accesible el 15 de abril de 2014.
- [191] Temperature Control Wiki, *How to view and clear Phantom Communications Serial Ports in Device Manager* [en línea]. Disponible en <http://www.temperaturecontrolwiki.com/anuncio-84504277-How-to-view-and-clear-Phantom-Communications-Serial-Ports-in-Device-Manager-Arizona-Phoenix.html>. Accesible el 15 de abril de 2014.
- [192] Microsoft, revisiones para corregir problemas con puertos fantasma, página web oficial. Disponible en <http://support.microsoft.com/hotfix/KBHotfix.aspx?kbnm=2416007&kbln=es#step2>. Accesible el 15 de abril de 2014.
- [193] Apagado aleatorio de puertos USB en Windows 7. Disponible en <http://www.sevenforums.com/sound-audio/276823-windows-audio-randomly-dies-probably-usb-related.html>. Accesible el 15 de abril de 2014.
- [194] Wikipedia, *Wi-Fi*. Disponible en <http://en.wikipedia.org/wiki/Wi-Fi>. Accesible el 15 de abril de 2014.
- [195] Arduino, especificaciones del shield WiFi. Disponible en <http://arduino.cc/en/Main/ArduinoWiFiShield>. Accesible el 15 de abril de 2014.
- [196] Arduino, actualización del firmware de shield WiFi. Disponible en <http://arduino.cc/en/Main/ArduinoWiFiShield#.Ux4BWf15OSp>. Accesible el 15 de abril de 2014.
- [197] L. Pan, *How to upgrade Arduino WIFI shield firmware (on Windows)* [en línea]. Disponible en <http://www.dfrobot.com/community/how-to-upgrade-arduino-wifi-shield-firmware-on-windows.html>. Accesible el 15 de abril de 2014.
- [198] Wikipedia, *Ethernet*. Disponible en <http://en.wikipedia.org/wiki/Ethernet>. Accesible el 15 de abril de 2014.
- [199] Wikipedia, *Bluetooth*. Disponible en <http://en.wikipedia.org/wiki/Bluetooth>. Disponible el 15 de abril de 2014.
- [200] J. García Zubía y G. R. Alves, *Using Remote Labs in Education Two Little Ducks in Remote Experimentation*, Ed. Deusto Digital, Universidad de Deusto, Bilbao, 2011. ISBN 978-84-9830-398-8.
- [201] A. K. M. Azad, M. E. Auer y V. J. Harward, *Internet Accesible Remote Laboratories. Scalable E-Learning Tools for Engineering and Science Disciplines*, Ed. Engineering Science Reference, IGI Global. Hershey, Pensilvania, 2012. ISBN 978-1-61350-188-7.

- [202] A. Melkonyan, D. Akopian y C. L. P. Chen, "A remote over-internet hands-on laboratory," *Systems, Man and Cybernetics*, 2009. *SMC 2009. IEEE International Conference on* , vol., no., pp.4634-4640, 11-14 de octubre de 2009 doi: 10.1109/ICSMC.2009.5346755 URL: <http://ieeexplore.ieee.org.ezproxy.uned.es/stamp/stamp.jsp?tp=&arnumber=5346755&isnumber=5345886>. Accesible el 15 de abril de 2014.
- [203] N. E. Cagiltay, E. Aydin, C. C. Aydin, A. Kara y M. Alexandru, "Seven Principles of Instructional Content Design for a Remote Laboratory: A Case Study on ERRL," *Education, IEEE Transactions on* , vol.54, no.2, pp.320-327, mayo de 2011 doi: 10.1109/TE.2010.2058115 URL: <http://ieeexplore.ieee.org.ezproxy.uned.es/stamp/stamp.jsp?tp=&arnumber=5535216&isnumber=5762417>. Accesible el 15 de abril de 2014.
- [204] S. Seiler, *Laboratory as a Service – A Holistic Framework for Remote and Virtual Labs*. Tesis doctoral. Faculty of Mechanical Engineering Department of Mechatronics, Tallinn University of Technology. Tallin, Estonia 2012. ISBN 9789949233601, ISBN 9789949233618, ISSN 14064758. Disponible en <http://digi.lib.ttu.ee/i/?799&>. Accesible el 15 de abril de 2014.
- [205] U. Hernandez Jayo, *Metodología de control independiente de Instrumentos y experimentos para su despliegue en laboratorios remotos*. Tesis doctoral. Facultad de Ingeniería, Universidad de Deusto. Bilbao, 2012.
- [206] A. J. Gatward, *An internet-attached robot system supporting teaching in higher education*. Tesis doctoral. University of Reading. Berkshire, Reino Unido, 2012. URL: <http://ethos.bl.uk/OrderDetails.do?did=2&uin=uk.bl.ethos.577780#sthash.OQJ75pcv.dpuf>. Accesible el 15 de abril de 2014.
- [207] M. Lind, *Open Real-Time Control and Emulation of Robots and Production Systems*. Tesis doctoral. Department of Productions and Quality Engineering, Norwegian University of Science and Technology. Trondheim, Noruega, 2012. URL: <http://www.dart-europe.eu/full.php?id=583475>. Accesible el 15 de abril de 2014.
- [208] G. Tokdemir y S. Bilgen, "Remote Lab Effectiveness Assessment Model," *Optimization of Electrical and Electronic Equipment*, 2008. *OPTIM 2008. 11th International Conference on* , vol., no., pp.234-239, 22-24 de mayo 2008 doi: 10.1109/OPTIM.2008.4639517 URL: <http://ieeexplore.ieee.org.ezproxy.uned.es/stamp/stamp.jsp?tp=&arnumber=4639517&isnumber=4602282>. Accesible el 15 de abril de 2014.
- [209] J. E. Corter, J. V. Nickerson, S. K. Esche y C. Chassapis, "Remote versus hands-on labs: a comparative study," *Frontiers in Education*, 2004. *FIE 2004. 34th Annual* , vol., no., pp. FIG- 17-21 Vol. 2, 20-23 de octubre de 2004 doi:10.1109/FIE.2004.1408586 URL: <http://ieeexplore.ieee.org.ezproxy.uned.es/stamp/stamp.jsp?tp=&arnumber=1408586&isnumber=30543>. Accesible el 15 de abril de 2014.
- [210] E. San Cristobal Ruiz, *Metodología, estructura y desarrollo de interfaces intermedias para la conexión de laboratorios remotos y virtuales a plataformas*

educativas. Tesis doctoral. Escuela Técnica Superior de Ingenieros Industriales Universidad Nacional de Educación a Distancia (UNED). Madrid, 2010.

[211] I. Titov, "Labicom.net - The on-line laboratories platform," *Global Engineering Education Conference (EDUCON), 2013 IEEE*, vol., no., pp.1137,1140, 13-15 March 2013 doi: 10.1109/EduCon.2013.6530251

URL: <http://ieeexplore.ieee.org.ezproxy.uned.es/stamp/stamp.jsp?tp=&arnumber=6530251&isnumber=6530074>. Accesible el 15 de abril de 2014.

[212] P. Orduña, *Transitive and scalable federation model for remote laboratories*. Tesis doctoral. Facultad de Ingeniería, Universidad de Deusto. Bilbao, 2013. Disponible en http://www.weblab.deusto.es/pub/dissertation_pablo.pdf. Accesible el 15 de abril de 2014.

[213] R. Cordeiro y J. M. Fonseca, "Euronet Lab: Euronet LAB, A cloud V-lab environment," *Information Systems and Technologies (CISTI), 2010 5th Iberian Conference on*, vol., no., pp.1-5, 16-19 de junio de 2010 URL: <http://ieeexplore.ieee.org.ezproxy.uned.es/stamp/stamp.jsp?tp=&arnumber=5556630&isnumber=5556594>. Accesible el 15 de abril de 2014.

[214] A. del Blanco, A. Serrano, M. Freire, I. Martinez-Ortiz, y B. Fernandez-Manjon, "E-Learning standards and learning analytics. Can data collection be improved by using standard data models?," *Global Engineering Education Conference (EDUCON), 2013 IEEE*, vol., no., pp.1255,1261, 13-15 de marzo de 2013 doi: 10.1109/EduCon.2013.6530268

URL: <http://ieeexplore.ieee.org.ezproxy.uned.es/stamp/stamp.jsp?tp=&arnumber=6530268&isnumber=6530074>

[215] Hsu-Chen Cheng; Wen-Wei Liao, "Establishing an lifelong learning environment using IOT and learning analytics," *Advanced Communication Technology (ICACT), 2012 14th International Conference on*, vol., no., pp.1178,1183, 19-22 de febrero de 2012.URL: <http://ieeexplore.ieee.org.ezproxy.uned.es/stamp/stamp.jsp?tp=&arnumber=6174821&isnumber=6174590>. Accesible el 15 de abril de 2014.

[216] P. Daponte, D. Grimaldi y S. Rapuano, "New frontier of the m-learning in instrumentation and measurement: Experiment creation," *Software, Telecommunications and Computer Networks, 2008. SoftCOM 2008. 16th International Conference on*, vol., no., pp.415-419, 25-27 de septiembre de 2008 doi: 10.1109/SOFTCOM.2008.4669521 URL:

<http://ieeexplore.ieee.org.ezproxytest.uned.es/stamp/stamp.jsp?tp=&arnumber=4669521&isnumber=4669441>. Accesible el 15 de abril de 2014.

[217] O. H. Graven y D. A. H. Samuelsen, "Work in progress: Software for remote laboratories designed with the focus on learners", *Frontiers in Education Conference (FIE), 2012*, 2012, pp. 1-2.

[218] S. Martin Gutierrez, *M2learn: framework for development of mobile and ubiquitous learning applications*. Tesis doctoral. Escuela Técnica Superior de Ingenieros Industriales Universidad Nacional de Educación a Distancia (UNED). Madrid, 2010.

- [219] H. Vargas, S. Dormido and J. Sánchez, *LabVIEW en la Enseñanza del Control: Laboratorios Virtuales y Remotos de Automática* [en línea], 2008. Disponible en <http://sine.ni.com/cs/app/doc/p/id/cs-11089>. Accesible el 15 de abril de 2014.
- [220] R. H. Vargas, N. Dormido and S. D. Duro, "Creación de laboratorios virtuales y remotos usando Easy Java Simulations y LabVIEW. El sistema Heatflow como un caso de estudio", *XXVII Jornadas de Automática*, Almería, 2006. ISBN: 84-689-9417-0. Disponible en <http://www.dia.uned.es/proyectos/dpi2004-01804/documents/congresos/Congreso27.pdf>. Accesible el 15 de abril de 2014.
- [221] D. Chaos, J. Chacón, J. A. Lopez-Orozco y S. Dormido, "Virtual and Remote Robotic Laboratory Using EJS, MATLAB and LabVIEW", *Sensors*, num. 13, pp. 2595-2612, 2013. Disponible en <http://www.mdpi.com/1424-8220/13/2/2595>. Accesible el 15 de abril de 2014.
- [222] R. Costa-Castelló, M. Vallés, L.M. Jiménez, L. Diaz-Guerra, A. Valera, R. Puerto, "Integración de dispositivos físicos en un laboratorio remoto de control mediante diferentes plataformas: LabVIEW, Matlab y C/C++", *Revista Iberoamericana de Automática e Informática Industrial RIAI*, Volume 7, Issue 1, January 2010, Pages 23-34, ISSN 1697-7912, [http://dx.doi.org/10.1016/S1697-7912\(10\)70005-4](http://dx.doi.org/10.1016/S1697-7912(10)70005-4). (<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1697791210700054>). Accesible el 15 de abril de 2014.
- [223] U. Piazzalunga, P. Salvaneschi, F. Balducci, P. Jacomuzzi, y C. Moroncelli, "Security Strength Measurement for Dongle-Protected Software," *Security & Privacy, IEEE*, vol.5, num.6, pp.32,40, Nov.-Dic. 2007 doi: 10.1109/MSP.2007.176 URL: <http://ieeexplore.ieee.org.ezproxy.uned.es/stamp/stamp.jsp?tp=&arnumber=4402444&isnumber=4402432>. Accesible el 15 de abril de 2014.
- [224] Parallax, Home BoeBot, página web oficial [en línea]. Disponible en <http://www.parallax.com/product/boe-bot-robot>. Accesible el 15 de abril de 2014.
- [225] Parallax, PBasic, página web oficial [en línea]. Disponible en <http://www.parallax.com/downloads/basic-stamp-editor-software>. Accesible el 15 de abril de 2014.
- [226] Electan. Datasheet del brazo robotizado C-9895 [en línea]. Disponible en <http://www.electan.com/datasheets/cebek/C-9895.pdf>. Accesible el 15 de abril de 2014.
- [227] Arduino, guía de productos [en línea]. Disponible en <http://arduino.cc/en/Main/Products>. Accesible el 15 de abril de 2014.
- [228] Agencia Española de Protección de Datos, página web oficial. Disponible en <http://www.agpd.es/portalwebAGPD/index-ides-idphp.php>. Accesible el 15 de abril de 2014.
- [229] WampServer, foros oficiales, *Change root MySQL password* [en línea]. Disponible en <http://forum.WampServer.com/read.php?2,44780>. Accesible el 15 de abril de 2014.

- [230] WampServer, foros oficiales [en línea]. Disponible en <http://forum.WampServer.com/list.php?2>. Accesible el 15 de abril de 2014.
- [231] S. Vittore, *How to put online your WampServer*, [en línea]. Disponible en <http://simonewebdesign.it/blog/how-to-put-online-your-WampServer/>. Accesible el 15 de abril de 2014.
- [232] Microsoft, *Firewall de Windows de principio a fin*, [en línea]. Disponible en <http://windows.microsoft.com/es-es/windows-8/windows-firewall-from-start-to-finish>. Accesible el 15 de abril de 2014.
- [233] Fadisel S.L., página oficial. Disponible en <http://www.fadisel.es/>. Accesible el 15 de abril de 2014.
- [234] Electan. Datasheet de puentes en H con L298 [en línea]. Disponible en <http://www.electan.com/datasheets/L298%20Dual%20H-Bridge%20Motor%20Driver%20datasheet.pdf>. Accesible el 15 de abril de 2014.
- [235] Datasheet de circuito integrado ST L298N [en línea]. Disponible en <http://pdf1.alldatasheet.com/datasheet-pdf/view/22440/STMICROELECTRONICS/L298N.html>. Accesible el 15 de abril de 2014.
- [236] Wan Muhamad Hanif Wan Kadir, Reza Ezuan Samin, Babul Salam Kader Ibrahim, "Internet Controlled Robotic Arm", *Procedia Engineering*, Volume 41, 2012, Pages 1065-1071, ISSN 1877-7058, <http://dx.doi.org/10.1016/j.proeng.2012.07.284> (<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1877705812026847>). Accesible el 15 de abril de 2014.
- [237] Mohd Ashiq Kamaril Yusoff, Reza Ezuan Samin, Babul Salam Kader Ibrahim, "Wireless Mobile Robotic Arm", *Procedia Engineering*, Volume 41, 2012, Pages 1072-1078, ISSN 1877-7058, <http://dx.doi.org/10.1016/j.proeng.2012.07.285>. (<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1877705812026859>). Accesible el 15 de abril de 2014.
- [238] R. Marin, P. J. Sanz, P. Nebot, R. Wirz, "A multimodal interface to control a robot arm via the web: a case study on remote programming," *Industrial Electronics, IEEE Transactions on*, vol.52, no.6, pp.1506,1520, diciembre de. 2005 doi: 10.1109/TIE.2005.858733 URL: <http://ieeexplore.ieee.org.ezproxy.uned.es/stamp/stamp.jsp?tp=&arnumber=1546366&isnumber=33004>. Accesible el 15 de abril de 2014.
- [239] H. W. R. Schreuder, *Advances in training for laparoscopic and robotic surgery*. Tesis doctoral. Utrecht University. Utrecht, Países Bajos, 2011. URL: <http://www.dart-europe.eu/full.php?id=547489> y en <http://dspace.library.uu.nl/handle/1874/212508> Disponible en: <http://dspace.library.uu.nl/bitstream/handle/1874/212508/schreuder.pdf?sequence=2> Accesible el 15 de abril de 2014

[240] D. Kaynov, *Open motion control architecture for humanoid robots*. Tesis doctoral. Departamento de Sistemas y Automática, Universidad Carlos III. Madrid, 2008.

[241] P. Srikanta, *Robot Cognition and navigation. An Experiment with Mobile Robots*, Ed. Springer, Berlín 2007.

[242] Qing Liu; Chenhe Liu; Huian Li; Xiang Xu; Lexi Gao, "Towards Automatic Discovering for a Real-World RESTful Web Service," *Web Information Systems and Applications Conference (WISA), 2012 Ninth* , vol., no., pp.39,42, 16-18 Nov. 2012 doi: 10.1109/WISA.2012.35

URL: <http://ieeexplore.ieee.org.ezproxy.uned.es/stamp/stamp.jsp?tp=&arnumber=6385180&isnumber=6385159>. Accesible el 15 de abril de 2014.

[243] Orduna, P.; Sancristobal, E.; Emaldi, M.; Castro, M.; Lopez-de-Ipina, D.; Garcia-Zubia, J., "Modelling remote laboratories integrations in e-learning tools through remote laboratories federation protocols," *Frontiers in Education Conference (FIE), 2012* , vol., no., pp.1,6, 3-6 Oct. 2012 doi: 10.1109/FIE.2012.6462220

URL: <http://ieeexplore.ieee.org.ezproxy.uned.es/stamp/stamp.jsp?tp=&arnumber=6462220&isnumber=6462204>. Accesible el 15 de abril de 2014.

[244] Pastor, R.; Sanchez, D.; Aliane, N.; Hernandez, R.; Robles-Gomez, A.; Caminero, A.; Ros, S.; Diaz, G.; Castro, M., "Practical experiences on building structured remote and virtual laboratories from the student's point of view," *Frontiers in Education Conference (FIE), 2012* , vol., no., pp.1,6, 3-6 Oct. 2012 doi: 10.1109/FIE.2012.6462264,

URL: <http://ieeexplore.ieee.org.ezproxy.uned.es/stamp/stamp.jsp?tp=&arnumber=6462264&isnumber=6462204>. Accesible el 15 de abril de 2014.

[245] F. M. Raimondi, L. S. Ciancimino, y M. Melluso, "Real-time remote control of a robot manipulator using Java and client-server architecture", *Proceedings of the 7th WSEAS international conference on Automatic control, modeling and simulation (ACMOS'05)*, pp. 122-126, 2005, Vilem Srovnal and Nikos Mastorakis (Eds.). World Scientific and Engineering Academy and Society (WSEAS), Stevens Point, Wisconsin, USA. URL: <http://dl.acm.org/citation.cfm?id=1983340#>. Accesible el 15 de abril de 2014.

[246] M. Tekerek, "A human robot interaction application for robotic education", *Procedia - Social and Behavioral Sciences*, vol. 1, num. 1, 2009, pp. 2164-2169, ISSN 1877-0428, <http://dx.doi.org/10.1016/j.sbspro.2009.01.380>. (<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1877042809003838>). Accesible el 15 de abril de 2014.

[247] K. Severinson-Eklundh, A. Green y H. Hüttenrauch, "Social and collaborative aspects of interaction with a service robot", *Robotics and Autonomous Systems*, vol. 42, num. 3-4, 31 de marzo de 2003, pp. 223-234, ISSN 0921-8890, [http://dx.doi.org/10.1016/S0921-8890\(02\)00377-9](http://dx.doi.org/10.1016/S0921-8890(02)00377-9). (<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0921889002003779>). Accesible el 15 de abril de 2014.

[248] T. Salter, K. Dautenhahn y R. te Boekhorst, "Learning about natural human–robot interaction styles", *Robotics and Autonomous Systems*, vol. 54, num. 2, 28 de febrero de 2006, pp. 127-134, ISSN 0921-8890, <http://dx.doi.org/10.1016/j.robot.2005.09.022>. (<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S092188900500151X>). Accesible el 15 de abril de 2014.

[249] A. A. Kist y A. Maxwell, "Performance and quality of experience of remote access laboratories," *Teaching, Assessment and Learning for Engineering (TALE)*, 2012 *IEEE International Conference on* , vol., no., pp.H3B-7,H3B-12, 20-23 de Agosto de 2012, doi: 10.1109/TALE.2012.6360346
URL: <http://ieeexplore.ieee.org.ezproxy.uned.es/stamp/stamp.jsp?tp=&arnumber=6360346&isnumber=6360287>. Accesible el 15 de abril de 2014.

[250] Proyecto TechnoMuseum, página oficial. Disponible en <http://www.technomuseum.org/>. Accesible el 15 de abril de 2014.

[251] MUNCYT (Museo Nacional de Ciencia Y Tecnología), página web oficial. Disponible en <http://www.muncyt.es/>. Accesible el 15 de abril de 2014.

[252] R. Igual, G. Carro-Fernandez, I. Plaza y R. Carrasco, "New Educational Environments: TechnoMuseum, Discovering the Use of the Technology", *15th International Conference on Enterprise Information Systems (ICEIS 2013)*, *2nd International Workshop Design in Educational Environments (IDEE 2013)*, pp. 158-165, 4-7 de Julio de 2013, Angers Loire Valley, Francia, 2013.
doi:10.5220/0004604501580165 URL:
<http://www.scitepress.org/DigitalLibrary/Link.aspx?doi=10.5220/0004604501580165>.
Accesible el 15 de abril de 2014.

[253] P. Plaza Merino, *Robótica basada en FPGA con fines educativos*. Tesis de Máster. Escuela Técnica Superior de Ingenieros Industriales Universidad Nacional de Educación a Distancia (UNED). Madrid, 2013.

[254] A. Rodic, M. Jovanovic, S. Popic y G. Mester, "Scalable experimental platform for research, development and testing of networked robotic systems in informationally structured environments experimental testbed station for wireless robot-sensor networks", *Robotic Intelligence In Informationally Structured Space (RiiSS)*, 2011 *IEEE Workshop on* , vol., no., pp.136-143, 11-15 de abril de 2011
doi: 10.1109/RIISS.2011.5945779 URL:
<http://ieeexplore.ieee.org.ezproxy.uned.es/stamp/stamp.jsp?tp=&arnumber=5945779&isnumber=5945773>. Accesible el 15 de abril de 2014.

[255] D. M. Ramík, C. Sabourin y K. Madani, "Autonomous knowledge acquisition based on artificial curiosity: Application to mobile robots in an indoor environment", *Robotics and Autonomous Systems*, vol. 61, num. 12, diciembre de 2013, pp. 1680-1695, ISSN 0921-8890, <http://dx.doi.org/10.1016/j.robot.2013.06.005>. (<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0921889013001127>). Accesible el 15 de abril de 2014.

[256] G. Carro Fernandez, M. Castro Gil, E. Sancristobal Ruiz, M. Latorre, G. Diaz, S. Martin y P. Losada, "Scaffolding online laboratory experiences as inclusive and

motivational tools for students and teachers," *Frontiers in Education Conference, 2013 IEEE* , vol., no., pp.1921,1927, 23-26 Oct. 2013 doi: 10.1109/FIE.2013.6685170
URL: <http://ieeexplore.ieee.org.ezproxy.uned.es/stamp/stamp.jsp?tp=&arnumber=6685170&isnumber=6684765>. Accesible el 15 de abril de 2014.

[257] Proyecto Go-Lab, página web oficial. Disponible en <http://www.go-lab-project.eu/>. Accesible el 15 de abril de 2014.

[258] G. Carro, M. Castro, E. Sancristobal, G. Diaz, F. Mur, M. Latorre, M. Chaparro, A. López-Rey, C. Salzmán y D. Gillet, " The color of the light: a remote laboratory that uses a smart device that connects teachers and students", *Global Engineering Education Conference (EDUCON), 2014 IEEE* , 3-5 abril de 2014.

[259] Graasp, página web oficial. Disponible en <http://graasp.epfl.ch/>. Accesible el 15 de abril de 2014.

[260] Carro Fernandez, G. "Karakuri, el inicio de los autómatas en el país del sol naciente". *Boletín electrónico de la IEEE Student Branch UNED*, no.7 pp. 22-30, 3 de Mayo 2007. ISSN: 1989-2195.URL:
http://www.ieec.uned.es/ieee/investigacion/ieee_dieec/sb/boletin/boletin_7%20mc.pdf. Accesible el 15 de abril de 2014.

[261] Carro Fernandez, G. "Karakuri, el inicio de los autómatas en el país del sol naciente (y II)". *Boletín electrónico de la IEEE Student Branch UNED*, no.8 pp. 26-35, 30 de Octubre 2007. ISSN: 1989-2195.URL:
http://www.ieec.uned.es/ieee/investigacion/ieee_dieec/sb/boletin/boletin_8_Octubre_2007.pdf. Accesible el 15 de abril de 2014.

[262] M. Taddei, *Leonardo da Vinci's robots New mechanics and new automata found in codices*, Ed. Leonardo3, ISBN: 978-88-6048-008-8, Italia, 2007.

[263] N. Sharkey y A. Sharkey, "Robotic Surgery: On the Cutting Edge of Ethics," *Computer* , vol.46, no.1, pp.56,64, enero de. 2013 doi: 10.1109/MC.2012.424
URL: <http://ieeexplore.ieee.org.ezproxy.uned.es/stamp/stamp.jsp?tp=&arnumber=6374197&isnumber=6415488>. Accesible el 15 de abril de 2014.

[264] Colegio Karbo, página web oficial. Disponible en <https://www.colexio-karbo.com>. Accesible el 15 de abril de 2014.

[265] I. E. S. Ramiro de Maeztu, página web oficial. Disponible en <http://www.educa.madrid.org/web/ies.ramirodemaeltu.madrid/>. Accesible el 15 de abril de 2014.

[266] O. Dziabenko y J. García-Zubía, *IT Innovative Practices in Secondary Schools: Remote Experiments*, Ed. Deusto Digital, Universidad de Deusto, Bilbao, 2013. ISBN: 978-84-15772-01-9.

[267] P. Orduña, L. Rodríguez-Gil, I. Angulo, O. Dziabenko, D. Lopez-de-Ipina y J. Garcia-Zubia, "Exploring students collaboration in remote laboratory infrastructures," in *Remote Engineering and Virtual Instrumentation (REV), 2012 9th International*

Conference on , vol., no., pp.1,5, 4-6 de Julio de 2012 doi: 10.1109/REV.2012.6293159, URL: <http://ieeexplore.ieee.org.ezproxy.uned.es/stamp/stamp.jsp?tp=&arnumber=6293159&isnumber=6293092>. Accesible el 15 de abril de 2014.

[268] J. Ruiz-del-Solar and R. Aviles, "Robotics courses for children as a motivation tool: the Chilean experience," *Education, IEEE Transactions on*, vol.47, no.4, pp.474,480, Nov. 2004 doi: 10.1109/TE.2004.825063, URL: <http://ieeexplore.ieee.org.ezproxy.uned.es/stamp/stamp.jsp?tp=&arnumber=1356096&isnumber=29780>. Accesible el 15 de abril de 2014.

[269] M. U. Bers, L. Flannery, E. R. Kazakoff and A. Sullivan, "Computational Thinking and Tinkering: Exploration of an Early Childhood Robotics Curriculum," *Computers & Education*, vol. 72, marzo de 2014, pp. 145-157, ISSN 0360-1315, <http://dx.doi.org/10.1016/j.compedu.2013.10.020>. (<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0360131513003059>). Accesible el 15 de abril de 2014.

[270] Portal formativo. Cursos de Especialización, Capacitación y Máster para la Formación de Profesionales. Disponible en <http://volta.ieec.uned.es>. Accesible el 15 de abril de 2014.

[271] C. Pfister, *Getting Started with the Internet of Things*, Ed. O'Reilly Media, Inc. ISBN: 978-1-4493-9357-1. California, EE.UU., 2012.

[272] K. Ashton, "That 'Internet of Things' Thing, in the real world things matter more than ideas" [en línea], *RFID Journal*. 22 de junio de 2009. Disponible en <http://www.rfidjournal.com/articles/view?4986>. Accesible el 15 de abril de 2014.

[273] M. Weiser, "The Computer for the 21st Century", *Scientific American* 265(9):66–75, pp. 94-104, septiembre de 1991. Disponible en <http://wiki.daimi.au.dk/pca/files/weiser-orig.pdf>, en formato solo texto en <http://www.ubiq.com/hypertext/weiser/SciAmDraft3.html>. Accesible el 15 de abril de 2014.

[274] M. Weiser. The computer for the 21st century. *ACM SIGMOBILE Mobile Computing and Communications Review*, vol. 3, num. 3 de julio de 1999, pp. 3-11. DOI=10.1145/329124.329126 <http://doi.acm.org/10.1145/329124.329126>. Accesible el 15 de abril de 2014.

[275] F. P. Brooks Jr., *The Mythical Man-Month: Essays on Software Engineering*. Ed. Addison-Wesley, ISBN 0-201-83595-9, Boston, 1995.

[276] J. Atwood, *Diseconomies of Scale and Lines of Code*, [en línea]. Disponible en <http://blog.codinghorror.com/diseconomies-of-scale-and-lines-of-code/>. Accesible el 15 de abril de 2014.

[277] Foro [skeptics], *Do professional software developers write an average of 10 lines of code per day?*, [en línea]. Disponible en <http://skeptics.stackexchange.com/questions/17224/do-professional-software->

[developers-write-an-average-of-10-lines-of-code-per-day](#). Accesible el 15 de abril de 2014.

[278] Electan, precios de materiales tomados como referencia en página web oficial. Disponible en <http://www.electan.com/>. Accesible el 15 de abril de 2014.

[279] LabVIEW. Coste de licencia, página oficial. Disponible en <http://www.ni.com/LabVIEW/buy/esa/>. Accesible el 15 de abril de 2014.

[280] MatLab. Coste de licencia, página oficial. Disponible en <http://www.mathworks.es/pricing-licensing/>. Accesible el 15 d abril de 2014.

[281] Parallax, SumoBot. Disponible en <http://www.parallax.com/product/27400>. Accesible el 15 de abril de 2014.

[282] S. Garrido, L. Moreno, J. V. Gómez and P. U. Lima, "General Path Planning Methodology for Leader-Follower Robot Formations", *International Journal of Advanced Robotic Systems*, vol. 10, 64:2013, pp. 1, 2 Octubre, 2012. doi:10.5772/53999, URL: <http://cdn.intechopen.com/pdfs-wm/42245.pdf>. Accesible el 15 de abril de 2014.

[283] DFRobot, InsectBot. Disponible en http://www.dfrobot.com/index.php?route=product/product&product_id=1055#U0rV4P1_s8A. Accesible el 15 de abril de 2014.

[284] G. A. Bekey, *Autonomous Robots : From Biological Inspiration to Implementation and Control*. Cambridge etc.: The MIT Press, 2005.

[285] Arduino, “Arduino Leonardo”, página web oficial. Disponible en <http://arduino.cc/en/Main/arduinoBoardLeonardo>. Accesible el 15 de abril de 2014.

[286] DFRobot, “Beetle”, pagina web oficial. Disponible en http://www.dfrobot.com/wiki/index.php/Beetle_SKU:DFR0282. Accesible el 15 de abril de 2014.

Bibliografía de consulta

- Asmundis, Riccardo de, *Modelling, programming and simulations using LabVIEW software*, Ed. InTech. 2011. ISBN 978-953-307-521-1.
- Baichtal, John, Beckler, Matthew y Wolf, Adam, *Make: Lego and Arduino Projects*, Ed. O'Reilly Media, Inc., 2012. ISBN 978-1-449-32106-2
- Banzi, Massimo, *Getting started with Arduino*, Ed. O'Reilly Media, Inc., Segunda edición. 2011. ISBN 978-1-449-309879.
- Bayle, Julien, *C Programming for Arduino*, Ed. Packt Publishing. 2013. ISBN 978-1-84951-758-4.
- Bedkowski, Janusz, *Mobile robots. Control architectures, Bio-interfacing, Navigation, multi Robot motion planning and operator training*, Ed. InTech. 2011. ISBN 978-953-307-842-7.
- Bishop, Robert H., *The Mechatronics Handbook: Mechatronics systems, sensors and actuators*, Segunda edición, Ed. CRC Press. 2008. ISBN 978-0-8493-9258-0.
- Brezina, Tomas y Jablonski, Ryszard, *Mechatronics 2013. Recent technological and scientific advances*, Ed. Springer. 2014. ISBN 978-3-319-02293-2.
- Broulik, Brad, *Pro jQuery Mobile*, Ed. Apress. 2011. ISBN 978-1-4302-3966-6.
- Camden, Raymond y Matthews, Andy, *jQuery Mobile Web development Essentials*, Ed. Packt Publishing Ltd. 2012. ISBN 978-1-84951-726-3.
- Dutta, Ashish, *Robotic systems-Applications, control and programming*, Ed. InTech. 2012. ISBN 978-953-307-941-7.
- Ernest, Michael, *Java SE7 Programming Essentials*, Ed. John Wiley & Sons, Inc. 2013. ISBN 978-1-118-35910-5.
- Farrell, Joyce, *Java Programming*, Ed. Course Technology. 2012. ISBN 978-1-111-52944-4.
- Goldstein, Alexis; Lazaris, Louis y Weyl Estelle, *HTML5 & CSS3 for the real world*, Ed. SitePoint Pty. Ltd. 2011. ISBN 978-0-9808468-0-4.
- Hersent, Olivier; Boswarthick, David; Elloumi, Omar, *The Internet of Things, key applications and protocols*, Ed. John Wiley & Sons, Inc. 2012. ISBN 978-1-119-99435-0.
- Horstmann, Cay, *Big Java, 4th Edition*, Ed. John Wiley & Sons, Inc. 2010. ISBN 978-0-470-50948-7.
- Horstmann, Cay, *Java Concepts 6th Edition*, Ed. John Wiley & Sons, Inc. 2010. ISBN 978-0-470-50947-0.

Igoe, Tom, *Making things talk*, Ed. O'Reilly Media, Inc., Primera edición. 2007. ISBN 978-0-596-51051-0.

Igoe, Tom, *Making things talk*, Ed. O'Reilly Media, Inc., Segunda edición. 2011. ISBN 978-1-449-39243-7.

Karvinen, Kimmo y Karvinen, Tero, *Make: Arduino Bots and gadgets*, Ed. O'Reilly Media, Inc., 2011. ISBN 978-1-449-38971-0.

Küçük, Serdar, *Serial and parallel robot manipulators kinematics, dynamics, control and optimization*, Ed. InTech. 2012. ISBN 978-953-51-0437-7.

Larsen, Ronald W., *LabVIEW for Engineers*, Ed. Prentice Hall. 2011. ISBN 978-0-13-609429-6.

Lazar, Jon, *Arduino and LEGO Projects, cool custom LEGO projects powered by Arduino*, Ed. Apress. 2013. ISBN 978-1-4302-4929-0.

Lubbers, Peter; Albers, Brian y Salim, Frank, *Pro HTML5 Programming. Powerful APIs for richer Internet application development*, Ed. Apress. 2010. ISBN 978-1-4302-2790-8.

Mann, William C., *Smart technology for aging, disability, and Independence. The state of the Science*, Ed. John Wiley & Sons, Inc. 2005. ISBN 978-0-471-69694-0.

Margolis, Michael, *Arduino Cookbook*, Ed O'Reilly Media Inc. 2011. ISBN 978-0-596-80247-9.

McRoberts, Michael, *Beginning Arduino*, Ed. Apress. 2010. ISBN 978-1-4302-3240-7.

Monk, Simon, *30 Arduino Projects for the Evil Genius*, Ed. MacGraw-Hill. 2010. ISBN 978-0-07-174134-7.

Noble, Joshua, *Programming Interactivity*, Segunda edición. Ed. O'Reilly. 2012. ISBN 978-1-449-31144-5.

O'Sullivan, Dan y Igoe, Tom, *Physical Computing, sensing and controlling the physical world with computers*, Ed. Thomson. 2004. ISBN: 1-59200-346-X.

Oxer, Jonathan y Blemings, Hugh, *Practical Arduino. Cool projects for Open Source hardware*, Ed. Apress. 2009. ISBN 978-1-4302-2477-8.

Pfeiffer, Silvia, *The definitive Guide to HTML5 Video*, Ed. Apress. 2010. ISBN 978-1-4302-3090-8.

Powers, Shelley, *HTML5 Media*, Ed. O'Reilly. 2011. ISBN 978-1-449-30445-4.

Purdum, Jack, *Beginning C for Arduino*, Ed. Apress. 2012. ISBN 978-1-4302-4776-0.

Richardson, Leonard y Amundsen, Mike, *RESTful Web APIs*, Ed. O'Reilly. 2013. ISBN 978-1-449-35806-8.

Roberts, Dustyn, *Making things move DIY Mechanisms for Inventors, Hobbyists, and Artists*, Ed. McGraw-Hill. 2011. ISBN 978-0-07-174168-2.

Sahin, Ferat y Kachroo, Pushkin, *Practical and experimental robotics*, Ed. CRC Press. 2008. ISBN 978-1-4200-5909-0.

Sanders, Bill, *Smashing HTML5*, Ed. John Wiley & Sons, Inc. 2011. ISBN 978-0-470-97727-9.

Schildt, Herbert, *Java The Complete Reference, Eighth Edition*, Ed. Oracle Press. 2011. ISBN 978-0-07-160631-8.

Siciliano, Bruno y Khatib, Oussama, *Springer Handbook of Robotics*. Berlin: Springer, 2008. ISBN 978-3-540-23957-4.

Sikos, Leslie F., *Web Standars – Mastering HTML5, CSS, and XML*, Ed. Apress. 2011. ISBN 978-1-4302-4041-9.

Stefanov, Stoyan, *JavaScript for PHP developers*, Ed. O'Reilly. 2013. ISBN 978-1-449-32019-5.

Stephens, Ryan; Diggins, Christopher; Turkanis, Jonathan; y Cogswell, Jeff, *C++ Cookbook*, Ed. O'Reilly. 2006. ISBN 978-0-596-00761-4.

Timmis, Harold, *Practical Arduino Engineering*, Ed. Apress. 2011. ISBN 978-1-4302-3885-0

Trobaugh, James J. y Lowe, Mannie, *Winning LEGO MINDSTORMS Programming*, Ed. Apress. 2012. ISBN 978-1-4302-4536-0.

Uckelman, Dieter; Harrison, Mark; Michahelles, Florian, *Architecting the Internet of Things*, Ed. Springer. 2011. ISBN 978-3-642-19156-5.

Wagner, Richard, *Professional Flash Mobile development*, Ed. John Wiley & Sons, Inc. 2011. ISBN 978-0-470-62007-6.

Wikipedia (www.wikipedia.org/), 2014.

YouTube (www.youtube.com/), 2014.

Zakas, Nicolas C., *Professional JavaScript for Web Developers*, Ed. John Wiley & Sons, Inc. 2012. ISBN 978-118-02669-4.

Zakas, Nicolas C.; McPeak, Jeremy; Fawcett, Joe, *Professional Ajax, 2nd Edition*, Ed. John Wiley & Sons, Inc. 2007. ISBN 978-0-470-10949-6.

Currículum Vitae

Germán Carro Fernández Fecha de nacimiento: 23/03/1973
Domicilio: Avenida de Monelos 241-A, piso 1ºB. A Coruña 15009
Teléfonos: (34) 981-170173 / (34) 634-548459
E-mail: gmncrf@gmail.com / germancf@ieee.org Skype: germnc
Linkedin: <http://www.linkedin.com/pub/german-carro-fernandez/21/5a/3b0>
Researchgate: https://www.researchgate.net/profile/German_Carro_Fernandez?ev=hdr_xprf



FORMACIÓN ACADÉMICA:

2012 - actualmente. - "*Doctorado en Investigación en Ingeniería Eléctrica, Electrónica y de Control Industrial*". Dpto. de Ingeniería Eléctrica, Electrónica y de Control. E.T.S. Ing. Industrial. Univ. Nac. de Educación a Distancia (UNED).

2012. - "*Master en Investigación en Ingeniería Eléctrica, Electrónica y de Control Industrial*". Espec. en Ingeniería Telemática. E.T.S. Ing. Industrial. Univ. Nac. de Educación a Distancia (UNED).

2010. - "*Ingeniería Técnica en Informática de Sistemas*". Universidad Nacional de Educación a Distancia (UNED). Ing. Téc. en Informática Colegiado desde 2010. IEEE Member desde 2006.

1997. - "*Master en Administración Financiera y Tributaria*" (800 horas). Univ. A Coruña-Escuela de Hacienda Pública (UDC y EHP).

1996. - "*Licenciatura en Ciencias Económicas y empresariales*" (sección económicas). Especialidad en Economía Financiera. Univ. A Coruña (UDC). Economista Colegiado desde 1996.

PUBLICACIONES RECIENTES SOBRE ROBÓTICA E INGENIERÍA:

- ❖ "*Aprendizaje basado en actividades colaborativas en el nuevo espacio europeo: un grupo distribuido y virtual de robótica*". V.V.A.A Ponencia expuesta en el ciclo INECE'07 (1ª JORNADAS INTERNACIONALES UPM SOBRE INNOVACIÓN EDUCATIVA Y CONVERGENCIA EUROPEA) Madrid del 11 al 13 de diciembre de 2007. ISBN: 978-84-691-0186-5.
- ❖ "*Diseño de un Curso de Programación Avanzada a través de Aprendizaje Basado en Proyectos: Una Aplicación Geoinformática*." Co-autor. Pgs. 31-38. IEEE-RITA (Revista iberoamericana de Tecnologías del Aprendizaje) Vol. 3. Número 1. Mayo 2008. ISSN: 1932-8540.
- ❖ "*Learning based on collaborative activities: A virtual and distributed robotics groups joined by IEEE Student branch*." Co-autor- Pgs.28-37 IEEE_MEEM ((Multidisciplinary Engineering Education Magazine) Vol. 3. Número 2. 15 de junio de 2008. ISSN: 1558-7908.
- ❖ "*El papel de las Sociedades de ingeniería en el nuevo espacio europeo de educación superior*" V.V.A.A Ponencia expuesta en el ciclo INECE'09 (3ª JORNADAS INTERNACIONALES UPM SOBRE INNOVACIÓN EDUCATIVA Y CONVERGENCIA EUROPEA) Madrid, 24- 26 de dic. de 2009. CD-ROM: ISBN 978-84-692-9417-8
- ❖ "*Engineering societies as a vehicle tool for engineering students*" V.V.A.A Ponencia expuesta en EDUCON 2010 convocada internacionalmente por el IEEE, UNED y UPM del 14 al 16 de abril de 2010. CD-ROM - IEEE Catalog Number: CFP10EDU-CDR - ISBN: 978-1-4244-6569-9 USB - IEEE.

- ❖ *"Patentes en Informática Industrial, la Propiedad del Software a Debate"*. Pgs. 10-14. Boletín nº16, Rama de Estudiantes IEEE-UNED. 1 de septiembre de 2011. ISSN: 1989-2195.
- ❖ *"Comunicación sin hilos como facilitador del aprendizaje presencial con robots y uso de entornos de simulación virtuales para robótica industrial"*. Pgs. 15-29. Boletín nº16, Rama de Estudiantes IEEE-UNED. 1 de septiembre de 2011. ISSN: 1989-2195.
- ❖ *"El Vehículo Eléctrico desde el Punto de Vista de la Sostenibilidad y la Eficiencia en la Ingeniería"*. Pgs. 30-41. Boletín nº16, Rama de Estudiantes IEEE-UNED. 1 de septiembre de 2011. ISSN: 1989-2195.
- ❖ "El vehículo eléctrico como actuación para el desarrollo sostenible". Pgs. 14-17. Ciencia nº11, Agrup. Astron. RIAS BAIXAS. 1º Semestre 2012. Depósito legal: VG 232-2007. Vigo (España), 2012.
- ❖ *"Flexibility of wireless technologies in learning in robotics laboratories"*. Ponencia predoctoral expuesta en EDUCON 2012, IEEE, UNED, UPM y Univ. Mohammed V- Souissi, 17-20 abril de 2012.
- ❖ Fernandez, G.C.; Gutierrez, S.M.; Ruiz, E.S.; Perez, F.M.; y Gil, M.C., **"Robotics, the New Industrial Revolution,"** *Technology and Society Magazine, IEEE*, vol. 31, no. 2, pp. 51-58, 2012.
- ❖ Carro Fernandez, G.; Castro Gil, M.; y Mur Perez, F., **"Remote robotic laboratory as nexus between students and real engineering,"** *ICL Conference (ICL), 2012 IEEE*, septiembre 2012.
- ❖ Carro Fernandez, G.; Martin Gutierrez, S.; Sancristobal Ruiz, E; Castro Gil, M.; y Mur Perez, F., **"Formation in robotics, the key to integration in industrial environments,"** *ICL Conference (ICL), 2012 IEEE*, septiembre 2012.
- ❖ Hernández, J.M.; Blázquez, M.; Carro, G.; San Cristobal, E; y Castro M., **"Instrumentation and software development in a wind tunnel as an educational resource,"** *ICL Conference (ICL), 2012 IEEE*, septiembre 2012.
- ❖ Blázquez, M., Santos, J., Carro, G., Diaz, G., Castro, M., Latorre, M., Plaza, I. y Arcega, F. **Teaching Technology with CLIL methodology: A case study.** IEEE Global Engineering Education Conference (EDUCON 2013) – "Synergy from Classic and Future Engineering Education", págs. 581-590. IEEE-ES, Tech. Univ. Berlín, Universidad de Vigo, Carinthia Tech Institute Villach, ISBN: 978-1-4673-6109-5, 13-15 Marzo 2013, Berlín (Alemania).
- ❖ Igual, R., Carro Fernández, G., Carrasco, R., y Plaza, I. **TechnoMuseum, Discovering the Use of the Technology.** Interaction Design in Educational Environments (IDEE 2013). Organizador ESEO-ICEIS, ISBN: 978-989-8565-65-5, 4-7 de Julio de 2013, Angers Loire Valley (Francia).
- ❖ G. Carro Fernandez, M. Castro Gil, E. Sancristobal Ruiz, M. Latorre, G. Diaz, S. Martin y P. Losada, **Scaffolding online laboratory experiences as inclusive and motivational tools for students and teachers,** *Frontiers in Education Conference, 2013 IEEE* , vol., no., pp.1921,1927, 23-26 Oct. 2013.
- ❖ Latorre Garcia, M.; Carro Fernandez, G.; Sancristobal Ruiz, E.; Pesquera Martin, A.; Castro Gil, M., **Rethinking remote laboratories: Widgets and smart devices,** *Frontiers in Education Conference, 2013 IEEE* , vol., no., pp.782,788, 23-26 Oct. 2013.

- ❖ Tawfik, Mohamed; Sancristobal, Elio; Ros, Salvador; Hernandez, Roberto; Caminero, Agustín; Tobarra, Llanos; Garcia-Loro, Felix; Latorre, Miguel; Carro, German; Diaz, Gabriel; **Middleware Solutions for Service-Oriented Remote Laboratories: A Review**, IEEE Global Engineering Education Conference (EDUCON 2014), Estambul, Túnez, 2014.
- ❖ Carro, German; Castro, Manuel; Sancristobal, Elio; Diaz, Gabriel; Mur, Francisco; Latorre, Miguel; Chaparro, Mercedes; López-Rey, Africa; Salzmann, Christophe; Gillet, Denis; **The color of the light: a remote laboratory that uses a smart device that connects teachers and students**, IEEE Global Engineering Education Conference (EDUCON 2014), Estambul, Túnez, 2014.

TESIS:

- ❖ Autor de la Tesis de Máster: **MODELADO DE UN SISTEMA DE CONTROL TELEMÁTICO PARA EQUIPOS ROBOTIZADOS (SICTER)**. Octubre del 2012. Matrícula de Honor. Escuela Téc. Sup. de Ingenieros Industriales Universidad Nacional de Educación a Distancia (UNED). Madrid, 2012.
- ❖ Co-director de la Tesis de Máster de Pedro Plaza Merino: **Robótica basada en FPGA con fines educativos**. 2013. Sobresaliente. Escuela Técnica Superior de Ingenieros Industriales Universidad Nacional de Educación a Distancia (UNED). Madrid, 2013.

PREMIOS:

- ❖ Premio 4 Estrellas en 2010, en la versión para Windows de la Suite criptográfica Contego Software, por Programas.com
- ❖ Premio 5 Estrellas en 2010, en la versión para Linux de la Suite criptográfica Contego Software, por Programas.com
- ❖ Premio 100% Free en 2010, para la Suite criptográfica Contego Software, por Softpedia
- ❖ Garantía 100% Clean en 2011, para la Suite criptográfica Contego Software, por Geardownload
- ❖ *"IEEE Certificate of Appreciation"* en reconocimiento a los servicios prestados y contribuciones realizadas como oficial voluntario de IEEE Spain Section. Noviembre 2011.
- ❖ *"IEEE EDUCON 2012 Best Student Paper Award"* por la publicación de "Flexibility of wireless technologies in learning in robotic laboratories". 17-20 abril 2012.
- ❖ *"Certificado de Agradecimiento del IEEE"* en reconocimiento a los servicios prestados y contribuciones realizadas como oficial Presidente AG GOLD en la IEEE Spain Section. Febrero 2014.

DESTACADOS PROYECTOS DE CAMPO RELACIONADOS CON LA INGENIERÍA:

- ❖ *"Proyecto SSETI Swarm", Equipo de Comunicaciones (COMM):*
*Desde agosto del 2008 hasta marzo de 2010. Coordinador del "Proyecto SSETI Swarm", Equipo de Comunicaciones (COMM) (<http://www.sseti.net>). Programa espacial para construir un satélite en colaboración con otras universidades internacionales. Objetivo: Diseñar, implementar y construir el equipo de comunicaciones de un grupo de satélites de investigación.
- ❖ *"Proyecto SSETI Orbital Propagator", Equipo de Codificación en C (CodeC):*
*Desde noviembre del 2009 hasta marzo de 2010. Coordinador del "Proyecto SSETI Orbital Propagator", Equipo de Codificación en C (CodeC) por el Departamento de Educación de la ESA

(<http://www.sseti.net>). Codificar en diferentes lenguajes de programación el algoritmo de corrección de órbita para el satélite ESEO; en C; en colaboración con la Agencia Espacial Italiana.

❖ *"Proyecto Techno-Museum: Discovering the ICTs for Humanity":*

*Desde el 19 de diciembre de 2011 hasta la actualidad. Investigador en el desarrollo de técnicas de laboratorios remotos de robótica y uso y divulgación de tecnologías para la sociedad. Proyecto financiado por IEEE Foundation, y con la colaboración del MUNCYT, UNED, Universidad de Zaragoza, Rama de Estudiantes IEEE-UNED, IEEE Spain Section y Spain Chapter IEEE Education Society.

❖ *"Proyecto Go-Lab", Laboratorios Remotos, educación y divulgación tecnológica:*

*Desde el 1 de marzo de 2013 hasta la actualidad. Investigador en el desarrollo de técnicas de laboratorios remotos, herramientas educativas y uso y divulgación de tecnologías para la sociedad. Proyecto financiado por el 7th Framework Project de la Unión Europea. Presupuesto 13.000.000,00 €.

❖ *"Proyecto eMadrid", Investigación y desarrollo para tecnologías de eLearning en la Com. de Madrid:*

*Desde el 1 de marzo de 2013 hasta la actualidad. Investigador en el desarrollo de técnicas de eLearning. Proyecto financiado por la Comunidad de Madrid.

EXPERIENCIA LABORAL PRINCIPAL:

❖ Compañía Universidad Nacional de Educación a Distancia (U.N.E.D.) (España):

*Desde marzo de 2013 hasta la actualidad. Ingeniero, Personal Docente, Investigador. Departamento de Ing. Eléctrica, Electrónica y de Control, Escuela Téc. Sup Ingenieros Industriales. Docencia en las asignaturas impartidas por el Departamento e investigación en proyectos nacionales e internacionales en el área de laboratorios remotos, robótica y comunicaciones. (Cód. Unesco): 330703 - Diseño de circuitos; 331115 - Técnicas de manipulación a distancia; 330406 - Arquitectura de ordenadores; 120314 - Sistemas de control del entorno.

❖ Compañías Paexma S.L., Warning Corp S.L. y GCF Software (A Coruña-España):

*Desde enero de 2008 hasta la actualidad. Ingeniero y Desarrollador Freelance en diferentes entornos, software y páginas webs, Web 2.0, e-learning, e-commerce, etc., utilizando para ello plataformas como Joomla o Wordpress, Framework CakePhp, JQuery, JQuery Mobile, App para Android, iOS, o diseños personalizados en AJAX, PHP, Flash, Javascript, Java, C, etcétera.

❖ Compañía Carro Fernández Asesores S.L. (A Coruña-España):

*Economista, Asesor Fiscal, Ingeniero. Independientemente de los trabajos desarrollados en las empresas anteriores, llevo realizando, desde enero del año 1994 hasta la actualidad, operaciones de consulting empresarial e industrial, control contable y asesoría fiscal, marketing y comercio exterior.

IDIOMAS NATIVOS O CON TITULACIÓN:

❖ *Castellano:* Nativo.

❖ *Gallego:* Nativo y con "Certificado de Iniciación e Perfeccionamento do Idioma Galego" (CELGA 4).

❖ *Inglés:* No nativo. Centro Wall Street Institute, "Certificado de nivel Upper Waystage 3".

Currículum a 30 de abril de 2014

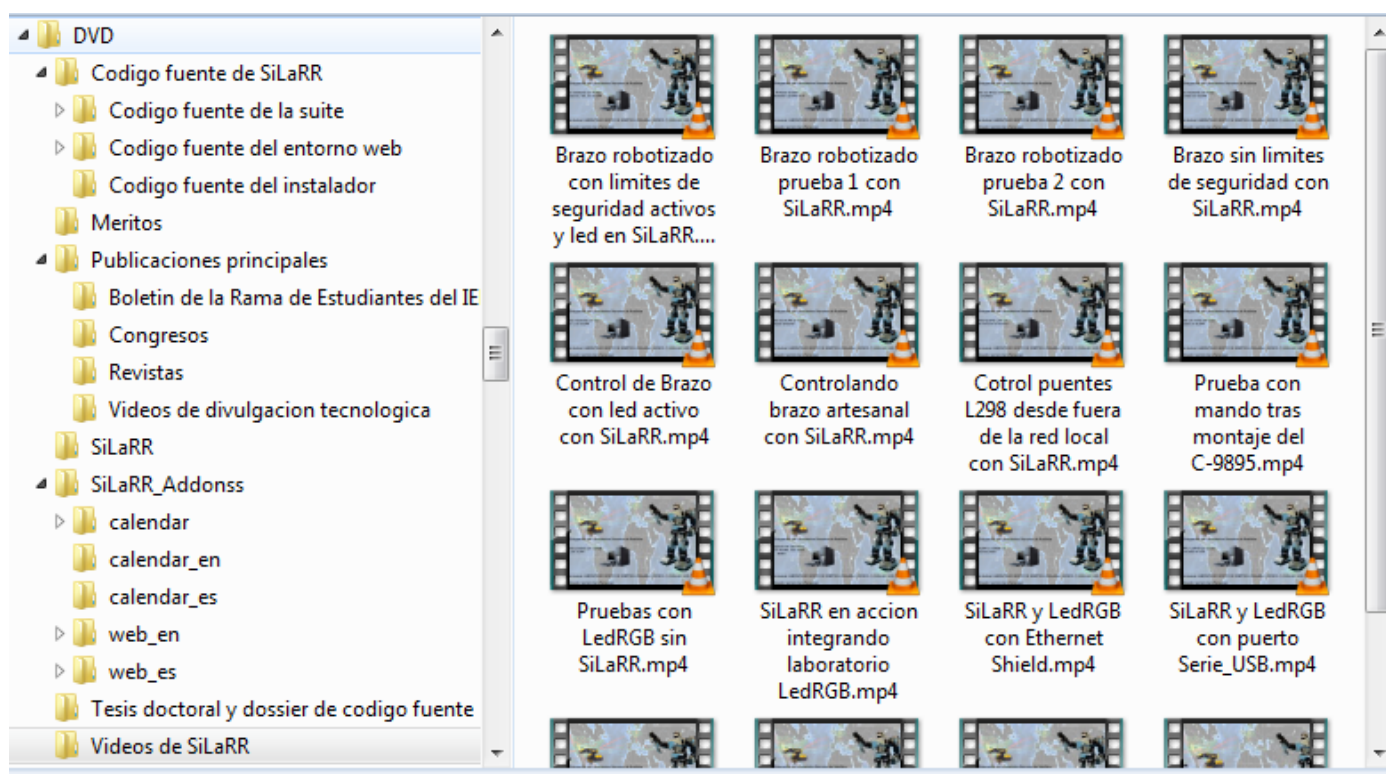
Contenido del DVD-ROM

El contenido del DVD se estructura de la siguiente manera por carpetas:

- Código fuente de SiLaRR:
 - ✓ Código fuente del entorno web: recoge todos los ficheros que forman el entorno web desplegado por SiLaRR, en español e inglés.
 - ✓ Código fuente del instalador: recoge el archivo de configuración de instalación de SiLaRR.
 - ✓ Código fuente de la suite: recoge el código fuente completo de la suite de SiLaRR.
- Méritos: recoge en un único *.*pdf los certificados enunciados en la misma sección homónima de la tesis doctoral.
- Publicaciones principales:
 - ✓ Boletín de la Rama de Estudiantes del IEEE en la UNED: recoge, con su respectivo ISSN los números en los que el autor ha publicado algún artículo de investigación o divulgación.
 - ✓ Congresos: recoge algunos de los diferentes artículos de investigación presentados en los respectivos congresos.
 - ✓ Revistas: recoge algunos de los diferentes artículos publicados en revistas indicando cada una de ellas.
 - ✓ Vídeos de divulgación: recoge algunos vídeos de divulgación sobre ciencia, robótica y tecnología y entrevistas realizadas al autor.
- SiLaRR: recoge el archivo de instalación de SiLaRR. Para que el usuario instale el sistema solo se debe ejecutar el archivo SiLaRR_Install.exe que contiene esta carpeta.
- SiLaRR_Addons: recoge las diferentes carpetas y ficheros que se encuentran embebidos en el propio instalador, así como el software de terceros que también está contenido en el mismo.
- Tesis doctoral y dossier de código fuente: recoge en *.*pdf un ejemplar de la tesis doctoral y un ejemplar del código fuente principal de SiLaRR. Se adjunta también otro ejemplar de la tesis doctoral en el directorio raíz.

- Vídeos de SiLaRR: recoge varios vídeos que sirven para explicar los pasos realizados hasta conseguir desarrollar SiLaRR y las pruebas con los diferentes protocolos de comunicación mostrados en la tesis doctoral, así como las pruebas de integración con el brazo robotizado y el LED RGB, que demuestran su correcto funcionamiento dentro del propio entorno web. La duración de los vídeos oscila entre los 34 segundos del más corto y los 50 minutos y 36 segundos del más largo. Cada uno de ellos contienen un título explicativo de su contenido, y están pensados como tutoriales de uso de SiLaRR.

Se muestra una imagen interna del contenido del DVD-ROM con una muestra de los vídeos contenidos en la carpeta pertinente. El contenido del DVD es de 1,48 GB en total.



Código fuente

Se mostrará en este Anexo parte del código fuente necesario para implementar SiLaRR. La totalidad del mismo está recogida en el DVD-ROM que se adjunta con esta tesis doctoral. Dado que las muestras en código C++ se han relacionado en el cuerpo de la tesis doctoral, en este Anexo se relacionará código Delphi, Java y AJAX. El objetivo es mostrar lo complejo de utilizar diferentes lenguajes de programación, pero al mismo tiempo la potencia que esto ofrece al hacerlo correctamente, SiLaRR es el ejemplo de ello.

Instalación

El proceso de instalación ha requerido compilar varios archivos en Delphi de los que el principal es el archivo “SiLaRR_doctorado_1_0.iss”. De todo el código en él contenido hay unas líneas que son especialmente importantes y que son aquellas que gestionan la recogida de datos del usuario durante el proceso de instalación.

```
var
UserPage: TInputQueryWizardPage;
UsagePage: TInputOptionWizardPage;
LightMsgPage: TOutputMsgWizardPage;
KeyPage: TInputQueryWizardPage;
ProgressPage: TOutputProgressWizardPage;
DataDirPage: TInputDirWizardPage;
message: String;
passwordinfo: String;
Password : String;
UserName : String;
Caption1 : TLabel;

procedure InitializeWizard;
begin
{ Crear las páginas }
message := ExpandConstant('{cm:PersonalInfo}');
passwordinfo := ExpandConstant('{cm>PasswordInfo}')
UserPage := CreateInputQueryPage(wpWelcome, message,
passwordinfo, ExpandConstant(
'{cm:TextoInfo}'));
UserPage.Add(ExpandConstant('{cm:UserInfo}'), False);
UserPage.Edits[0].Enabled := True; {Habilita la opción de usuario para
llamar con
GetUserName }
UserPage.Add(ExpandConstant('{cm:ContrasInfo}'), True);
{ Valores por defecto almacenados }
UserPage.Values[0] := '';
UserPage.Values[1] := '';
Caption1 := TLabel.Create(UserPage);
with Caption1 do
begin
Parent := UserPage.Surface;
```

```

Caption := ExpandConstant('{cm:AvisoImportante}');
Left := ScaleX(0);
Top := ScaleY(176);
Width := ScaleX(401);
Height := ScaleY(40);
WordWrap := True;
end;

end;

procedure RegisterPreviousData(PreviousDataKey: Integer);
var
UsageMode: String;
begin
{ Almacena configuración para recuperarla la próxima vez }
SetPreviousData(PreviousDataKey, 'Name', UserPage.Values[0]);
SetPreviousData(PreviousDataKey, 'PassName', UserPage.Values[1]);
end;
function NextButtonClick(CurPageID: Integer): Boolean;
var
I: Integer;
begin
{ Valida ciertas páginas permitiendo continuar }
if CurPageID = UserPage.ID then begin
if UserPage.Values[0] = '' then begin
MsgBox('You must enter your name.', mbError, MB_OK);
Result := False;
end else begin
Result := True;
end;
end else
Result := True;
end;
function UpdateReadyMemo(Space, NewLine, MemoUserInfoInfo,
MemoDirInfo, MemoTypeInfo,
MemoComponentsInfo, MemoGroupInfo, MemoTasksInfo: String): String;
var
S: String;
begin
{ Rellena el cuadro de texto con los datos recogidos }
S := '';
S := S + ExpandConstant('{cm:PersonalInfo}')+' ' + NewLine;
S := S + Space + UserPage.Values[0] + NewLine;
if UserPage.Values[1] <> '' then
S := S + Space + '*****' + NewLine;
S := S + NewLine;
Result := S;
end;
function GetUserName(Value: string): string;
begin
Result := GetPreviousData('Name', UserPage.Values[0]);
end;
function GetPassword(Value: string): string;
begin
Result := GetPreviousData('PassName', UserPage.Values[1]);
end;
function GetUser(Param: String): String;
begin
{ Devuelve el valor del usuario }
{ Se pueden separar las funciones GetUserName y GetUserPassName }
if Param = 'Name' then
Result := UserPage.Values[0]

```

```

        else if Param = 'PassNamecontrase' then
            Result := UserPage.Values[1];
        end;
    function GetDataDir(Param: String):
    String;
    begin
        { Devuelve el directorio seleccionado }
        Result := DataDirPage.Values[0];
    end;
    function ReplaceValue(const FileName, TagName, TagValue: string):
    Boolean;
    var
        I: Integer;
        Tag: string;
        Line: string;
        TagPos: Integer;
        FileLines: TStringList;
    begin
        Result := False;
        FileLines := TStringList.Create;
        try
            Tag := ']' + TagName + '=';
            FileLines.LoadFromFile(FileName);
            for I := 0 to FileLines.Count - 1 do
                begin
                    Line := FileLines[I];
                    TagPos := Pos(Tag, Line);
                    if TagPos > 0 then
                        begin
                            Result := True;
                            Delete(Line, TagPos + Length(Tag), MaxInt);
                            Line := Line + ' ' + TagValue + ' ';
                            FileLines[I] := Line;
                            FileLines.SaveToFile(FileName);
                            Break;
                        end;
                end;
            finally
                FileLines.Free;
            end;
        end;

    procedure CurStepChanged(CurStep: TSetupStep);
    var
        NewPath: string;
        Pathphp : string;
    begin
        if CurStep = ssDone then
            begin
                Pathphp := 'C:\wamp\apps\phpmyadmin3.5.1\config.inc.php';
                if ReplaceValue(ExpandConstant(Pathphp), '['user'] ',
                    GetUserName(Username)) then
                    if ReplaceValue(ExpandConstant(Pathphp), '['password']
                        ', GetPassword>Password))
                        then
                            MsgBox(ExpandConstant('{cm:TextCambiado}'), mbInformation,
                                MB_OK)
                        else
                            MsgBox(ExpandConstant('{cm:TextNoCambiado}'), mbError, MB_OK);
                end;
            end;
    end;

```

Suite de SiLaRR

Por otro lado en la programación en Java de la suite de SiLaRR hay una función cuya labor es generar todas las relaciones que posteriormente permitirán que el sistema pueda lanzarse y utilizarse. Esa función se encuentra en el archivo “LRR.java”.

```
private void aplicaSFjButtonActionPerformed(java.awt.event.ActionEvent evt) {
//GEN-FIRST:event_aplicaSFjButtonActionPerformed
String puertocom=puertocomjTextField.getText();
String bps=bpsjTextField.getText();
String ip_wifi=dirIPjTextField.getText();
String puertowifi=puertojTextField.getText();
String ip_ethernet=dirIPethernetjTextField.getText();
String puerto_ethernet=puertoetherjTextField.getText();
String mac_ethernet=macetherjTextField.getText();
String ipcam1=ipcam1jTextField.getText();
String ipcam2=ipcam2jTextField.getText();
String ipvlc=ipcam3jTextField.getText();
String ptoipwebcam1=portcam1TextField.getText();
String ptoipwebcam2=portcam2TextField.getText();
String ptowebvlc=portcam3TextField.getText();
String carpeta=nombreCjTextField.getText();
String nomWiFi=nomwifijTextField.getText();
String passWiFi=passwifijTextField.getText();
boolean dirFlag= false;
boolean fileFlag=false;
String basedatos=nomBDjTextField.getText();
String admin=nomAdjTextField.getText();
String pass=passjTextField.getText();
ResultSet resultEx;
String admin_exist=" ";
String nuevo_lab=" ";
Boolean existeya=false;
int enviar='1';
int recibir='0';
int pin0=0, pin1=0, pin2=0, pin3=0, pin4=0, pin5=0, pin6=0, pin7=0, pin8=0, pin9=0, pin10=0,
pin11=0, pin12=0;
int pin13=0, pin14=0, pin15=0, pin16=0, pin17=0, pin18=0, pin19=0, pin20=0, pin21=0, pin22=0
, pin23=0;
int pin24=0, pin25=0, pin26=0, pin27=0, pin28=0;
    if (EnviarjCheckBox.isSelected()){
        enviar =1; }else{enviar=0;}
    if (RecibirjCheckBox.isSelected()){
        recibir =1; }else{recibir=0;}
    if (jCheckBox0rxd.isSelected()||
jCheckBox32.isSelected()||jCheckBox63.isSelected()){
pin0=1;};
    if (jCheckBox1txd.isSelected()||
jCheckBox33.isSelected()||jCheckBox64.isSelected()){
pin1=1;};
    if (jCheckBox2.isSelected()||
jCheckBox34.isSelected()||jCheckBox65.isSelected()){
pin2=1;};
    if (jCheckBox3.isSelected()||
jCheckBox35.isSelected()||jCheckBox66.isSelected()){
pin3=1;};
    if (jCheckBox4.isSelected()||
jCheckBox36.isSelected()||jCheckBox67.isSelected()){
pin4=1;};
    if (jCheckBox5.isSelected()||
```



```

jCheckBox37.isSelected() || jCheckBox68.isSelected()){
pin5=1;};
if (jCheckBox6.isSelected() ||
jCheckBox38.isSelected() || jCheckBox69.isSelected()){
pin6=1;};
if (jCheckBox7.isSelected() ||
jCheckBox39.isSelected() || jCheckBox70.isSelected()){
pin7=1;};
if (jCheckBox8.isSelected() ||
jCheckBox40.isSelected() || jCheckBox71.isSelected()){
pin8=1;};
if (jCheckBox9.isSelected() ||
jCheckBox41.isSelected() || jCheckBox72.isSelected()){
pin9=1;};
if (jCheckBox10.isSelected() ||
jCheckBox42.isSelected() || jCheckBox73.isSelected()){
pin10=1;};
if (jCheckBox11.isSelected() ||
jCheckBox43.isSelected() || jCheckBox74.isSelected()){
pin11=1;};
if (jCheckBox12.isSelected() ||
jCheckBox44.isSelected() || jCheckBox75.isSelected()){
pin12=1;};
if (jCheckBox13.isSelected() ||
jCheckBox45.isSelected() || jCheckBox76.isSelected()){
pin13=1;};
if (jCheckBoxgnd.isSelected() ||
jCheckBox46.isSelected() || jCheckBox77.isSelected()){
pin14=1;};
if (jCheckBoxaref.isSelected() ||
jCheckBox47.isSelected() || jCheckBox78.isSelected()){
pin15=1;};
if (jCheckBoxa5.isSelected() ||
jCheckBox48.isSelected() || jCheckBox79.isSelected()){
pin16=1;};
if (jCheckBoxa4.isSelected() ||
jCheckBox49.isSelected() || jCheckBox80.isSelected()){
pin17=1;};
if (jCheckBoxa3.isSelected() ||
jCheckBox50.isSelected() || jCheckBox81.isSelected()){
pin18=1;};
if (jCheckBoxa2.isSelected() ||
jCheckBox51.isSelected() || jCheckBox82.isSelected()){
pin19=1;};
if (jCheckBoxa1.isSelected() ||
jCheckBox52.isSelected() || jCheckBox83.isSelected()){
pin20=1;};
if (jCheckBoxa0.isSelected() ||
jCheckBox53.isSelected() || jCheckBox84.isSelected()){
pin21=1;};
if (jCheckBoxvin.isSelected() ||
jCheckBox54.isSelected() || jCheckBox85.isSelected()){
pin22=1;};
if (jCheckBoxagnd1.isSelected() ||
jCheckBox55.isSelected() || jCheckBox86.isSelected
()){pin23=1;};
if (jCheckBoxagnd2.isSelected() ||
jCheckBox56.isSelected() || jCheckBox87.isSelected
()){pin24=1;};
if (jCheckBox5v.isSelected() ||
jCheckBox57.isSelected() || jCheckBox88.isSelected()){

```

```

pin25=1;};
if (jCheckBox3v3.isSelected()||
jCheckBox58.isSelected()||jCheckBox89.isSelected()){
pin26=1;};
if (jCheckBoxreset.isSelected()||
jCheckBox59.isSelected()||jCheckBox90.isSelected
()){pin27=1;};
if (jCheckBoxioref.isSelected()||
jCheckBox60.isSelected()||jCheckBox91.isSelected
()){pin28=1;};
if ((ipjCheckBox.isSelected())&&(!ValidarIPAddress
(ipcam1jTextField.getText()))){
Object[] options = {lenguaje.getString("Aceptar")};
JOptionPane.showOptionDialog(ErrorDialog,lenguaje.getString("ErrorIP1"),lenguaje.
getString("Error"),JOptionPane.ERROR_MESSAGE,JOptionPane.ERROR_MESSAGE,null,
options,lenguaje.getString("Aceptar"));
return;
}
if ((yawjCheckBox.isSelected())&&(!ValidarIPAddress
(ipcam2jTextField.getText()))){
Object[] options = {lenguaje.getString("Aceptar")};
JOptionPane.showOptionDialog(ErrorDialog,lenguaje.getString("ErrorIP2"),lenguaje.
getString("Error"),JOptionPane.ERROR_MESSAGE,JOptionPane.ERROR_MESSAGE,null,
options,lenguaje.getString("Aceptar"));
return;
}
if ((vlcjCheckBox.isSelected())&&(!ValidarIPAddress
(ipcam3jTextField.getText()))){
Object[] options = {lenguaje.getString("Aceptar")};
JOptionPane.showOptionDialog(ErrorDialog,lenguaje.getString("ErrorIP3"),lenguaje.
getString("Error"),JOptionPane.ERROR_MESSAGE,JOptionPane.ERROR_MESSAGE,null,
options,lenguaje.getString("Aceptar"));
return;
}
if (nomBDjTextField.getText().equals("")){
Object[] options = {lenguaje.getString("Aceptar")};
JOptionPane.showOptionDialog(ErrorDialog,lenguaje.getString("ErrorNombreBD"),
lenguaje.getString("Error"),JOptionPane.ERROR_MESSAGE,JOptionPane.ERROR_MESSAGE,
null,options,lenguaje.getString("Aceptar"));
return;}
if (nomAdjTextField.getText().equals("")){
Object[] options = {lenguaje.getString("Aceptar")};
JOptionPane.showOptionDialog(ErrorDialog,lenguaje.getString("ErrorNombreAd"),
lenguaje.getString("Error"),JOptionPane.ERROR_MESSAGE,JOptionPane.ERROR_MESSAGE,
null,options,lenguaje.getString("Aceptar"));
return;}
if (passjTextField.getText().equals("")){
Object[] options = {lenguaje.getString("Aceptar")};
JOptionPane.showOptionDialog(ErrorDialog,lenguaje.getString("ErrorPassAd"),
lenguaje.getString("Error"),JOptionPane.ERROR_MESSAGE,JOptionPane.ERROR_MESSAGE,
null,options,lenguaje.getString("Aceptar"));
return;}
if (numeroCjTextField.getText().equals("")){
Object[] options = {lenguaje.getString("Aceptar")};
JOptionPane.showOptionDialog(ErrorDialog,lenguaje.getString("ErrorNombreLab"),
lenguaje.getString("Error"),JOptionPane.ERROR_MESSAGE,JOptionPane.ERROR_MESSAGE,
null,options,lenguaje.getString("Aceptar"));
return;}
//Inicio de la creacion y gestión de la Base de Datos y de las tablas
Connection Conn = null;
Statement stmt = null;

```

```

Statement stmt2 = null;
try {
Conn = DriverManager.getConnection
("jdbc:mysql://localhost/?user="+nomAdjTextField.getText()+
"&password="+passjTextField.getText());
} catch (SQLException ex) {
Object[] options = {lenguaje.getString("Aceptar")};
JOptionPane.showOptionDialog(ErrorDialog,lenguaje.getString("OtrosErroresBD"),
lenguaje.getString("Error"),JOptionPane.ERROR_MESSAGE,JOptionPane.ERROR_MESSAGE,
null,options,lenguaje.getString("Aceptar"));
Logger.getLogger(LRR.class.getName()).log(Level.SEVERE, null, ex);
}
Statement s = null;
try {
s = Conn.createStatement();
} catch (SQLException ex) {
Object[] options = {lenguaje.getString("Aceptar")};
JOptionPane.showOptionDialog(ErrorDialog,lenguaje.getString("OtrosErroresBD"),
lenguaje.getString("Error"),JOptionPane.ERROR_MESSAGE,JOptionPane.ERROR_MESSAGE,
null,options,lenguaje.getString("Aceptar"));
Logger.getLogger(LRR.class.getName()).log(Level.SEVERE, null, ex);
}
try {
//Creación de la base de datos
s.executeUpdate("CREATE DATABASE "+nomBDjTextField.getText());
//Fin de la creación de la Base de datos
} catch (SQLException ex) {
//Comprueba si ya existe la base de datos e informa sobre ello pero sigue
if (ex.getErrorCode() == 1007){
Object[] options = {lenguaje.getString("Aceptar")};
JOptionPane.showOptionDialog(ErrorDialog,lenguaje.getString("ExisteBD"),
lenguaje.getString("Error"),JOptionPane.INFORMATION_MESSAGE,JOptionPane.
INFORMATION_MESSAGE,null,options,lenguaje.getString("Aceptar"));
}
}
try {
//Inicio de la creación de tablas en la base de datos
//Conexión a la base de datos ya creada
String url = "jdbc:mysql://localhost/"+basedatos;
String username = nomAdjTextField.getText();
String password = passjTextField.getText();
Connection conn = null;
conn = DriverManager.getConnection(url, username, password);
stmt = conn.createStatement();
stmt2 = conn.createStatement();
//Creación de las tablas básicas del sistema
stmt.executeUpdate(lenguaje.getString("TablaInicial"));
stmt.executeUpdate(lenguaje.getString("TablaIniUsers"));
stmt.executeUpdate(lenguaje.getString("TablaManage"));
stmt.executeUpdate(lenguaje.getString("TablaTutorsLabs"));
stmt.executeUpdate(lenguaje.getString("TablaStudentsLabs"));
stmt.executeUpdate(lenguaje.getString("TablaStudFilesTutor"));
stmt.executeUpdate(lenguaje.getString("TabladeReservas"));
stmt.executeUpdate(lenguaje.getString("TablaTutStud"));
//Fin de la creación de las tablas básicas del sistema
} catch (SQLException ex) {
// if (ex.getErrorCode() == 1007) {
// Database already exists error
Object[] options = {lenguaje.getString("Aceptar")};
//Indicador de la creación de las tablas
JOptionPane.showOptionDialog(ErrorDialog,lenguaje.getString("CrearTabla"),

```



```

//Fin de la inserción en users del último laboratorio creado en la tabla de
labs, con asignación para el administrador
};
String sqlpuerto = "SELECT Puerto_COM, bps FROM labs WHERE Name='"+carpeta+"'";
ResultSet results = stmt.executeQuery(sqlpuerto);
if (results.next()){
puertocom=results.getString("Puerto_COM");
bps=results.getString("bps");}
} catch (SQLException ex) {
Object[] options = {lenguaje.getString("Aceptar")};
JOptionPane.showOptionDialog(ErrorDialog,lenguaje.getString("OtrosErroresBD"),
lenguaje.getString("Error"),JOptionPane.ERROR_MESSAGE,JOptionPane.ERROR_MESSAGE,
null,options,lenguaje.getString("Aceptar"));
Logger.getLogger(LRR.class.getName()).log(Level.SEVERE, null, ex);
//Sale del error sin continuar con el resto de acciones
return;
}
//Fin de la creación y gestión de base de datos y de tablas
File folder = new File("C:\\wamp\\www\\SiLaRR\\labs");
folder.mkdirs();
//Comprobación de ficheros y carpetas
File dir = new File ("C:/wamp/www/SiLaRR/labs/"+carpeta);
if (dir.exists()){
dirFlag = true;
Object[] options = {lenguaje.getString("Aceptar")};
JOptionPane.showOptionDialog(ErrorDialog,lenguaje.getString("Existe"),lenguaje.
getString("Error"),JOptionPane.ERROR_MESSAGE,JOptionPane.ERROR_MESSAGE,null,
options,lenguaje.getString("Aceptar"));
}
else{
try{
dirFlag=dir.mkdir();
} catch (SecurityException Se) {
Object[] options = {lenguaje.getString("Aceptar")};
JOptionPane.showOptionDialog(ErrorDialog,lenguaje.getString("ErrorCrearDir"),
lenguaje.getString("Error"),JOptionPane.ERROR_MESSAGE,JOptionPane.
ERROR_MESSAGE,null,options,lenguaje.getString("Aceptar"));
}
Object[] options = {lenguaje.getString("Aceptar")};
JOptionPane.showOptionDialog(ErrorDialog,lenguaje.getString("CrearDir"),lenguaje.
getString("Informacion"),JOptionPane.INFORMATION_MESSAGE,JOptionPane.
INFORMATION_MESSAGE,null,options,lenguaje.getString("Aceptar"));
}
File file = new File ("C:/wamp/www/SiLaRR/labs/"+carpeta+"/index.php");
if (file.exists()){
dirFlag = true;
Object[] options = {lenguaje.getString("Aceptar")};
JOptionPane.showOptionDialog(ErrorDialog,lenguaje.getString("ExisteFile"),
lenguaje.getString("Error"),JOptionPane.ERROR_MESSAGE,JOptionPane.ERROR_MESSAGE,
null,options,lenguaje.getString("Aceptar"));
}
else{
try{
fileFlag = file.createNewFile();
} catch (IOException ex) {
Object[] options = {lenguaje.getString("Aceptar")};
JOptionPane.showOptionDialog(ErrorDialog,lenguaje.getString("ErrorCrearFile"),
lenguaje.getString("Error"),JOptionPane.ERROR_MESSAGE,JOptionPane.ERROR_MESSAGE,
null,options,lenguaje.getString("Aceptar"));
}
Object[] options = {lenguaje.getString("Aceptar")};

```

```

JOptionPane.showOptionDialog(ErrorDialog, lenguaje.getString("CrearFile"), lenguaje
.getString("Informacion"), JOptionPane.INFORMATION_MESSAGE, JOptionPane.
INFORMATION_MESSAGE, null, options, lenguaje.getString("Aceptar"));
//Fin de comprobación de fichero
//Fin de comprobación de directorio
//Inicio de creación de archivo index.php las variables las saca de la BD y así
cambien si estas
//se cambian.
BufferedWriter out = null;
try {
out = new BufferedWriter(new FileWriter("C:/wamp/www/SiLaRR/labs/"+carpeta+
+"/"+"index.php"));
} catch (IOException ex) {
Logger.getLogger(LRR.class.getName()).log(Level.SEVERE, null, ex);
}
{
try { //Escribir cabecera
out.write(lenguaje.getString("CabeceraFile"));
//Escribir datos de conexión a la BD
out.write (" $enlace = mysql_connect('localhost', '"+admin+"', '"+pass+
"');\n" +
"if (!$enlace) {\n" + " die('No pudo conectarse: ' .
mysql_error());\n" +
"}\n" + "//echo 'Conectado satisfactoriamente';echo '\n';\n"
+
"\n" + "$bd_seleccionada = mysql_select_db('" + basedatos + "',
$enlace);\n" +
"if (!$bd_seleccionada) {\n" +
" die ('No se puede usar "+ basedatos + " : ' .
mysql_error());\n" +
"}\n" +
"//echo 'Conectado a "+ basedatos + "';echo '\n';\n" +
"\n" +
"$sql = 'SELECT * FROM labs WHERE Name=\"'+carpeta+
\"'\";\n" +
"$resultado = mysql_query($sql, $enlace);\n" +
"\n" +
"if (!$resultado) {\n" +
" echo 'Error de BD, no se pudo consultar la base de
datos'\n';\n" +
" echo 'Error MySQL: ' . mysql_error();\n" +
" exit;\n" +
"}");
//Fin de código de conexión
//Inicio código de llamada para variables a la DB
out.write ("while ($fila = mysql_fetch_assoc($resultado)) {\n" +
" $enviar=$fila['EnviarDatos'];\n" +
" $recibir=$fila['RecibirDatos'];\n" +
" $portcom=$fila['Puerto_COM'];\n" +
" $bps=$fila['bps'];\n" +
" $ipwifi=$fila['IP_WiFi'];\n" +
" $ipethernet=$fila['IP_Ethernet'];\n" +
" $macethernet=$fila['MAC_Ethernet'];\n" +
" $ptowifi=$fila['puertowifi'];\n" +
" $ptoethernet=$fila['puertoethernet'];\n" +
" $ipwebcam1=$fila['ipWebCam1'];\n" +
" $ptoipwebcam1=$fila['ptoipwebcam1'];\n" +
" $ipwebcam2=$fila['ipWebCam2'];\n" +
" $ptoipwebcam2=$fila['ptoipwebcam2'];\n" +
" $ipwebcam3=$fila['ipWebVLC'];\n" +
" $ptoipwebvlc=$fila['ptowebVLC'];\n" +

```

```

" $nomWiFi=$fila['nomWiFi'];\n" +
" $passWiFi=$fila['passWiFi'];\n" +
" }\n"+
" mysql_free_result($resultado);\n" +
" mysql_close($enlace);");
//Fin de llamadas a la BD
//Sustituir esto por una consulta directa a la BD
//out.write("$port=\""+puertocom+"\n $bps=\""+bps+"\n");
//Selección del código para el fichero comunicaciones
int comm=0;
    if (TipoCom.equals("Serie")) comm=0;
    if (TipoCom.equals("WiFi")) comm=1;
    if (TipoCom.equals("Ethernet")) comm=2;
    if ((TipoCom.equals("Serie")&& TipoLab.equals("RGBLed"))) comm=3;
    if ((TipoCom.equals("WiFi")&& TipoLab.equals("RGBLed"))) comm=4;
    if ((TipoCom.equals("Ethernet")&& TipoLab.equals("RGBLed"))) comm=5;
    switch (comm){
    case 0:
    if (enviar==1) {
    out.write(lenguaje.getString("AperturaPuertos"));
    };
    if (recibir==1) {
    out.write(lenguaje.getString("RecibirDatos"));
    };
out.write(lenguaje.getString("CerrarCodigo"));
break;
case 1:out.write(lenguaje.getString("AperturaPuertosWiFi"));break;
case 2:out.write(lenguaje.getString("AperturaPuertosEthernet"));break;
case 3:
if (enviar==1) {
out.write(lenguaje.getString("AperturaPuertosLed"));
};
if (recibir==1) {
out.write(lenguaje.getString("RecibirDatos"));
};
out.write(lenguaje.getString("CerrarCodigo"));
break;
case 4:out.write(lenguaje.getString("AperturaPuertosWiFiLed"));break;
case 5:out.write(lenguaje.getString("AperturaPuertosEthernetLed"));
break;
default:out.write(lenguaje.getString("AperturaPuertos"));break;
}
//Fin del código para comunicaciones
//Selección del código para el tipo de laboratorio
int laboratorio=0;
    if (TipoLab.equals("RGBLed")) laboratorio=0;
    if (TipoLab.equals("Brazo")) laboratorio=1;
    if (TipoLab.equals("Ruedas")) laboratorio=2;
    if (TipoLab.equals("Bipedo")) laboratorio=3;
    if (TipoLab.equals("Personalizado")) laboratorio=4;
    switch (laboratorio){
    case 0:
    out.write(lenguaje.getString("CuerpoWebRGBLed"));
    if (ipjCheckBox.isSelected()){
    out.write(lenguaje.getString("IpCam"));
    };
    if (yawjCheckBox.isSelected()){
    out.write(lenguaje.getString("YawCam"));
    };
    if (vlcjCheckBox.isSelected()){
    out.write(lenguaje.getString("vlcCam"));
    };

```

```

};
if (recibir==1) {
out.write(lenguaje.getString("CuerpoRecibir"));
};
out.write(lenguaje.getString("Cuerpo2WebRGBLed"));
break;
case 1:out.write(lenguaje.getString("CuerpoWebBrazo"));
if (ipjCheckBox.isSelected()){
out.write(lenguaje.getString("IpCam"));
};
if (yawjCheckBox.isSelected()){
out.write(lenguaje.getString("YawCam"));
}
if (vlcjCheckBox.isSelected()){
out.write(lenguaje.getString("vlcCam"));
};
if (recibir==1) {
out.write(lenguaje.getString("CuerpoRecibir"));
};
out.write(lenguaje.getString("Cuerpo2WebBrazo"));
break;
case 2:out.write(lenguaje.getString("CuerpoWebRuedas"));
if (ipjCheckBox.isSelected()){
out.write(lenguaje.getString("IpCam"));
};
if (yawjCheckBox.isSelected()){
out.write(lenguaje.getString("YawcamCam"));
}
if (vlcjCheckBox.isSelected()){
out.write(lenguaje.getString("vlcCam"));
};
if (recibir==1) {
out.write(lenguaje.getString("CuerpoRecibir"));
};
out.write(lenguaje.getString("Cuerpo2WebRuedas"));
break;
case 3:out.write(lenguaje.getString("CuerpoWebBipedo"));break;
case 4:out.write(lenguaje.getString("CuerpoWebPersonalizado"));
if (ipjCheckBox.isSelected()){
out.write(lenguaje.getString("IpCam"));
};
if (yawjCheckBox.isSelected()){
out.write(lenguaje.getString("YawcamCam"));
}
if (vlcjCheckBox.isSelected()){
out.write(lenguaje.getString("vlcCam"));
};
if (recibir==1) {
out.write(lenguaje.getString("CuerpoRecibir"));
};
out.write(lenguaje.getString("Cuerpo2WebBrazo"));
break;
default:out.write(lenguaje.getString("CuerpoWebBrazo"));
if (ipjCheckBox.isSelected()){
out.write(lenguaje.getString("IpCam"));
};
if (yawjCheckBox.isSelected()){
out.write(lenguaje.getString("YawcamCam"));
}
if (vlcjCheckBox.isSelected()){
out.write(lenguaje.getString("vlcCam"));
};

```



```

};
if (recibir==1) {
out.write(lenguaje.getString("CuerpoRecibir"));
};
out.write(lenguaje.getString("Cuerpo2WebBrazo"));
break;
}
//Si no hay ninguna cámara
if (!vlcjCheckBox.isSelected()&&!yawjCheckBox.isSelected()&&!ipjCheckBox.
isSelected()){
out.write(lenguaje.getString("FrameRestoCamaras"));
}
//Fin código si no hay ninguna cámara
//Fin del código para el tipo de laboratorio
} catch (IOException ex) {
Logger.getLogger(LRR.class.getName()).log(Level.SEVERE, null, ex);
}
}
try {
out.close();
// TODO add your handling code here:
} catch (IOException ex) {
Logger.getLogger(LRR.class.getName()).log(Level.SEVERE, null, ex);
}
//Inicio de creacion de archivo para VLC solo si la cámara VLC está activada
if (vlcjCheckBox.isSelected()){
BufferedWriter vlcout = null;
try {
vlcout = new BufferedWriter(new FileWriter("C:/wamp/www/SiLaRR/labs/"+carpeta
+"/"+"vlclan.aspx"));
} catch (IOException ex) {
Logger.getLogger(LRR.class.getName()).log(Level.SEVERE, null, ex);
}
try {
vlcout.write(lenguaje.getString("CabeceraFile"));
//Consulta directa a la BD
vlcout.write (" $enlace = mysql_connect('localhost', '"+admin+"', '"+pass
+"');\n" +
"if (!$enlace) {\n" + " die('No pudo conectarse: ' .
mysql_error());\n" +
"}\n" + "//echo 'Conectado satisfactoriamente';echo '\n';\n"
+
"\n" + "$bd_seleccionada = mysql_select_db('" +basedatos+"',
$enlace);\n" +
"if (!$bd_seleccionada) {\n" +
" die ('No se puede usar "+basedatos+" : ' .
mysql_error());\n" +
"}\n" +
"//echo 'Conectado a "+basedatos+"';echo '\n';\n" +
"\n" +
"$sql = 'SELECT * FROM labs WHERE Name=\""+carpeta+
"\"';\n" +
"$resultado = mysql_query($sql, $enlace);\n" +
"\n" +
"if (!$resultado) {\n" +
" echo 'Error de BD, no se pudo consultar la base de
datos\\\n';\n" +
" echo 'Error MySQL: ' . mysql_error();\n" +
" exit;\n" +
"}");
}
}
//Fin de código de conexión

```

```

//Inicio código de llamada para variables a la DB
vlcout.write ("while ($fila = mysql_fetch_assoc($resultado)) {\n" +
" $ipwebcam3=$fila['ipWebVLC'];\n" +
" $ptoipwebvlc=$fila['ptowebVLC'];\n}\n" +
" mysql_free_result($resultado);\n" +
" mysql_close($enlace);?>");
//Fin de las llamadas a la BD
//Código de creación del archivo asx.
vlcout.write(lenguaje.getString("CuerpoVLC"));
} catch (IOException ex) {
Logger.getLogger(LRR.class.getName()).log(Level.SEVERE, null, ex);
}
}
try {
vlcout.close();
} catch (IOException ex) {
Logger.getLogger(LRR.class.getName()).log(Level.SEVERE, null, ex);
}
}
//Fin de creación de archivo para VLC
}
//Actualización de datos de usuario, contraseña y base de datos en la web exterior
//esta actualización se hace solo la primera vez que se usa SiLaRR y luego solo se
cambia la BD
//si es necesario.
String oldusuario = "youruser", oldpass="yourpassword", oldBD="";
String newusuario = admin, newpass= pass, newBD=basedatos;
try {
Reemp.sustituir(oldusuario, newusuario);//Modifica el usuario la primera vez
Reemp.sustituir(oldpass, newpass);//Modifica la contraseña la primera vez
//Inicia funciones de modificación de base de datos siempre que se cambie
Properties properties = new java.util.Properties();//Preparo el entorno
try {
properties.load( new FileInputStream( "Lenguaje.properties" ));//carga el fichero
oldBD=properties.getProperty("bdnombre"); //Accedo a la propiedad y su contenido
Reemp.sustituir(oldBD, newBD); //Modifico el nombre de la BD por si el mismo
admin crea varias BDs
properties.setProperty("bdnombre",newBD);//Cambio la propiedad y su contenido
properties.store(new FileOutputStream( "Lenguaje.properties"), null);//Vuelvo a
cargar el fichero modificado
} catch (IOException ex) {
Logger.getLogger(LRR.class.getName()).log(Level.SEVERE, null, ex);
}
//Finalizan funciones de cambio de bases de datos siempre que se cambie
} catch (FileNotFoundException ex) {
Logger.getLogger(LRR.class.getName()).log(Level.SEVERE, null, ex);
}
}
//Fin de actualización de datos
contSFjButton.setEnabled(true);
volverSFjButton.setEnabled(false);
} //GEN-LAST:event_aplicaSFjButtonActionPerformed

```

Código del entorno web

Respecto al entorno web hay un fichero que asume la gestión de las funciones permitidas por cada usuario según el rol del mismo, o su perfil de sesión, así como la asignación de laboratorios según el tipo de laboratorio. Este fichero utiliza PHP, HTML y JavaScript combinados en AJAX, para su implementación, y es “funciones.php”

```

<?php
date_default_timezone_set("Europe/Madrid");
function menu_lateral()
{
$rol=$_SESSION["usuario"]["Rol"];
?>
<div data-role="collapsibleset" data-theme="a" data-content-theme="b" data-inset="false">
<?php
switch($rol)
{
    case "admin":
        ?>
        <div data-role="collapsible">
        <h2>Laboratorios</h2>
        <?php laboratorios()?>
        </div>
        <div data-role="collapsible">
        <h2>Usuarios</h2>
        <div data-role="collapsible">
        <h2>Administradores</h2>
        <?php usuarios("admin")?>
        </div>
        <div data-role="collapsible">
        <h2>Tutores</h2>
        <?php usuarios("tutor")?>
        </div>
        <div data-role="collapsible">
        <h2>Alumnos</h2>
        <?php usuarios("est")?>
        </div>
        <div data-role="collapsible">
        <h2>Nuevo</h2>
        <ul data-role="listview" data-theme="a" data-divider-theme="b">
        <li data-role="list-divider" onclick=
        "$('#Contenido').load('usuarios.php',{nuevo: true})" data-rel="close"
        >Nuevo usuario</li>
        </ul>
        </div>
        </div>
        <div data-role="collapsible">
        <h2>Acciones</h2>
        <ul data-role="listview" data-theme="a" data-divider-theme="b">
        <li><a href="#" onclick="$('#Contenido').load('reservas.php')" data-rel=
        "close">Mis reservas</a></li>
        <li><a href="#" onclick="$('#Contenido').load('informes.php',{tipo:
        'est'})" data-rel="close">Informes</a>
        </li>
        </ul>
        </div>
        <?php
        break;
        case "tutor":
            ?>
            <div data-role="collapsible">
            <h2>Laboratorios</h2>
            <?php laboratorios()?>
            </div>
            <div data-role="collapsible">
            <h2>Usuarios</h2>
            <ul data-role="listview" data-theme="b">
            <li data-role="collapsible" data-iconpos="right" data-inset="false">

```

```

<h2>Alumnos</h2>
<?php usuarios("est")?>
</li>
<li><a href="#" onclick="$('#Contenido').load('usuarios.php',{nuevo:
true})" data-rel="close">Nuevo usuario</a></li>
</ul>
</div>
<div data-role="collapsible">
<h2>Acciones</h2>
<ul data-role="listview" data-theme="a" data-divider-theme="b">
<li><a href="#" onclick="$('#Contenido').load('reservas.php')" data-rel=
"close">Mis reservas</a></li>
<li><a href="#" onclick="$('#Contenido').load('informes.php',{tipo:
'est'})" data-rel="close">Informes</a>
</ul>
</div>
<?php
break;
case "est":
?>
<div data-role="collapsible">
<h2>Laboratorios</h2>
<?php laboratorios()?>
</div>
<div data-role="collapsible">
<h2>Acciones</h2>
<ul data-role="listview" data-theme="a" data-divider-theme="b">
<li><a href="#" onclick="$('#Contenido').load('reservas.php')" data-rel=
"close">Mis reservas</a></li>
<li><a href="#" onclick="$('#Contenido').load('informes.php',{tipo:
'est'})" data-rel="close">Informes</a>
</ul>
</div>
<?php
break;
default:
}
?>
</div>
<?php
}
function laboratorios()
{
$rol=$_SESSION["usuario"]["Rol"];
switch($rol)
{
case 'admin':
?>
<ul data-role="listview" data-filter="true" data-filter-theme="a"
data-divider-theme="b" data-filter-placeholder="Buscar...">
<!--<li><a href="#" onclick="$('#Contenido').load('laboratorio.php',{nuevo:
true})" data-rel="close" data-rel="close">Nuevo</a></li>-->
<?php
if($rol=="admin")
{
$sql="SELECT id_lab,Name FROM labs ORDER BY Name";
$labs=mysql_query($sql);
while($laboratorio=mysql_fetch_assoc($labs))
{
?>
<li><a href="#" onclick=

```

```

        "$('#Contenido').load('laboratorio.php',{muestra: <?php echo
        $laboratorio["id_lab"]?>})" data-rel="close"><?php echo $laboratorio
        ["Name"]?></a></li>
        <?php
        }
        }
        ?>
</ul>
<?php
break;
case 'tutor':
?>
<ul data-role="listview" data-filter="true" data-filter-theme="a"
data-divider-theme="b" data-filter-placeholder="Buscar...">
<?php
$sql="SELECT DISTINCT A.id_lab,A.Name FROM labs AS A LEFT JOIN managelabs as
B ON A.id_lab=B.id_lab LEFT JOIN tutorslabs AS C ON A.id_lab=C.id_lab WHERE
B.activo=1 AND NOT ISNULL(C.id_tl) AND DATE(NOW()) BETWEEN ini_date AND
fin_date AND C.id_user=". $_SESSION["usuario"]["id_users"]." ORDER BY A.Name";
$labs=mysql_query($sql);
while($laboratorio=mysql_fetch_assoc($labs))
{
?>
<li><a href="#" onclick=
"$('#Contenido').load('laboratorio.php',{muestra: <?php echo
$laboratorio["id_lab"]?>})" data-rel="close"><?php echo $laboratorio[
"Name"]?></a></li>
<?php
}
?>
</ul>
<?php
break;
case 'est':
?>
<ul data-role="listview" data-filter="true" data-filter-theme="a"
data-divider-theme="b" data-filter-placeholder="Buscar...">
<?php
$sql="SELECT DISTINCT A.id_lab,A.Name FROM labs AS A LEFT JOIN managelabs as
B ON A.id_lab=B.id_lab LEFT JOIN studentslabs AS C ON A.id_lab=C.id_lab
WHERE B.activo=1 AND NOT ISNULL(C.id_sl) AND DATE(NOW()) BETWEEN ini_date
AND fin_date AND C.id_user=". $_SESSION["usuario"]["id_users"]." ORDER BY
A.Name";
$labs=mysql_query($sql);
while($laboratorio=mysql_fetch_assoc($labs))
{
?>
<li><a href="#" onclick=
"$('#Contenido').load('laboratorio.php',{muestra: <?php echo
$laboratorio["id_lab"]?>})" data-rel="close"><?php echo $laboratorio[
"Name"]?></a></li>
<?php
}
?>
</ul>
<?php
break;
}
}
function usuarios($tipo="est")
{

```

```

$rol=$_SESSION["usuario"]["Rol"];
switch($rol)
{
case 'admin':
$sql="SELECT id_users,Login FROM users WHERE Rol LIKE ' ".$tipo."' ORDER BY Login";
break;
case 'tutor':
$sql="SELECT id_users,Login FROM users WHERE Rol LIKE ' ".$tipo."' AND id_users
in (SELECT est_id FROM tutor_est WHERE tutor_id=".$_SESSION["usuario"]["id_users"
].") ORDER BY Login";
break;
}
?>
<ul data-role="listview" data-filter="true" data-filter-theme="a" data-divider-theme="b"
data-filter-placeholder="Buscar..." >
<?php
$users=mysql_query($sql);
while($user=mysql_fetch_assoc($users))
{
?>
<li><a href="#" onclick="$('#Contenido').load('usuarios.php',{muestra: <?php
echo $user["id_users"]?>})" data-rel="close"><?php echo $user["Login"]?>
</a></li>
<?php
}
?>
</ul>
<?php
}
function informes()
{
$rol=$_SESSION["usuario"]["Rol"];
switch($rol)
{
case 'admin':
?>
<ul data-role="listview" data-shadow="false" data-inset="true" data-corners=
"false">
<li><a href="#" onclick="$('#Contenido').load('informes.php',{tipo:
'tutor'})" data-rel="close">Uso de tutores</a></li>
<li><a href="#" onclick="$('#Contenido').load('informes.php',{tipo: 'est'})"
data-rel="close">Uso de alumnos</a></li>
</ul>
<?php
break;
case 'tutor':
?>
<ul data-role="listview" data-shadow="false" data-inset="true" data-corners=
"false">
<li><a href="#" onclick="$('#Contenido').load('informes.php',{tipo: 'est'})"
data-rel="close">Uso de alumnos</a></li>
</ul>
<?php
break;
}
}
function comprobacion_movil()
{
$mobile_browser = '0';
//$_SERVER['HTTP_USER_AGENT'] -> el agente de usuario que está accediendo a la página.
//preg_match -> Realizar una comparación de expresión regular

```

```

if(preg_match('/(up.browser|up.link|mmp|symbian|smartphone|midp|wap|phone)/i',strtolower(
$_SERVER['HTTP_USER_AGENT'])))
{
$mobile_browser++;
}
//$_SERVER['HTTP_ACCEPT'] -> Indica los tipos MIME que el cliente puede recibir.
if((strpos(strtolower($_SERVER['HTTP_ACCEPT']),'application/vnd.wap.xhtml+xml')>0)
or
((isset($_SERVER['HTTP_X_WAP_PROFILE']) or isset($_SERVER['HTTP_PROFILE']))))
{
$mobile_browser++;
}
$mobile_ua = strtolower(substr($_SERVER['HTTP_USER_AGENT'],0,4));
$mobile_agents = array(
'w3c ','acs-','alav','alca','amoi','audi','avan','benq','bird','blac',
'blaz','brew','cell','cldc','cmd-','dang','doco','eric','hipt','inno',
'ipaq','java','jigs','kddi','keji','leno','lg-c','lg-d','lg-g','lge-',
'maui','maxo','midp','mits','mmef','mobi','mot-','moto','mwbp','nec-',
'newt','noki','oper','palm','pana','pant','phil','play','port','prox',
'qwap','sage','sams','sany','sch-','sec-','send','seri','sgh-','shar',
'sie-','siem','smal','smar','sony','sph-','symb','t-mo','teli','tim-',
'tosh','tsm-','upg1','upsi','vk-v','voda','wap-','wapa','wapi','wapp',
'wapr','webc','winw','winw','xda','xda-');
//buscar agentes en el array de agentes
if(in_array($mobile_ua,$mobile_agents))
{
$mobile_browser++;
}
//$_SERVER['ALL_HTTP'] -> Todas las cabeceras HTTP
//strpos -> Primera aparicion de una cadena dentro de otra
if(strpos(strtolower($_SERVER['HTTP_USER_AGENT']),'OperaMini')>0)
$mobile_browser++;
if(strpos(strtolower($_SERVER['HTTP_USER_AGENT']),'windows')>0)
$mobile_browser=0;
if($mobile_browser>0)
return true;
else
return false;
}

function comprueba($acceso)
{
$sql="SELECT * FROM users WHERE Login='".$acceso[0]."' and Pass='".$acceso[1]."'";
$res=mysql_query($sql);
if(mysql_num_rows($res)==1)
$_SESSION["usuario"]=mysql_fetch_assoc($res);
}

function elemento_formulario($campos,$i,$datos=NULL,$limita=-1)
{
if(substr(mysql_result($campos,$i,"Type"),0,4)=='enum')
{
$valores=substr(mysql_result($campos,$i,"Type"),5,-1);
$valores=explode(",",$valores);
$devolver="<select name='".$mysql_result($campos,$i,"Field")."' id='".$mysql_result(
$campos,$i,"Field")."'>";
if($limita<0)
{
for($j=0;$j<count($valores);$j++)
{
if(is_null($datos))

```

```

$devolver.="<option value=".$valores[$j].(mysql_result($campos,$i,
"Default")==substr($valores[$j],1,-1)?'selected':'').">".substr($valores[
$j],1,-1)."</option>";
else
$devolver.="<option value=".$valores[$j].(mysql_result($datos,0,
mysql_result($campos,$i,"Field"))==substr($valores[$j],1,-1)?'selected':
'').">".substr($valores[$j],1,-1)."</option>";
}
}
else
{
if(is_null($datos))
$devolver.="<option value=".$valores[$limita].(mysql_result($campos,$i,
"Default")==substr($valores[$limita],1,-1)?'selected':'').">".substr($valores
[$limita],1,-1)."</option>";
else
$devolver.="<option value=".$valores[$limita].(mysql_result($datos,0,
mysql_result($campos,$i,"Field"))==substr($valores[$limita],1,-1)?'selected':
'').">".substr($valores[$limita],1,-1)."</option>";
}
}
$devolver.="</select>";
echo $devolver;
}
elseif(substr(mysql_result($campos,$i,"Field"),0,3)=="Pin" || mysql_result($campos,$i,
"Field")=="EnviarDatos" || mysql_result($campos,$i,"Field")=="RecibirDatos")
{
?>
<select name="<?php echo mysql_result($campos,$i,"Field")?>" id="<?php echo
mysql_result($campos,$i,"Field")?>" data-role="slider">
<option value="0">0</option>
<option value="1">1</option>
</select>
<?php
}
else
{
?>
<input type="text" name="<?php echo mysql_result($campos,$i,"Field")?>" id="<?php
echo mysql_result($campos,$i,"Field")?>" value="<?php echo !is_null($datos)?
mysql_result($datos,0,mysql_result($campos,$i,"Field")):' '?>">
<?php
}
}

function sindicados($lab,$activo=true)
{
// Analisis el laboratorio
$sql="SELECT * FROM labs AS A LEFT JOIN managelabs AS B ON A.id_lab=B.id_lab WHERE
A.id_lab=".$lab;
$labora=mysql_query($sql);
$nombre=explode("_",mysql_result($labora,0,"Name"));
// Busco los que se llaman igual
if(count($nombre)>1)
{
if($activo)
$sql="SELECT A.id_lab FROM labs AS A LEFT JOIN managelabs AS B ON
A.id_lab=B.id_lab WHERE A.Name LIKE '".$nombre[0]."\_%' AND B.activo=1";
else
$sql="SELECT A.id_lab FROM labs AS A LEFT JOIN managelabs AS B ON
A.id_lab=B.id_lab WHERE A.Name LIKE '".$nombre[0]."\_%'";
}
}

```



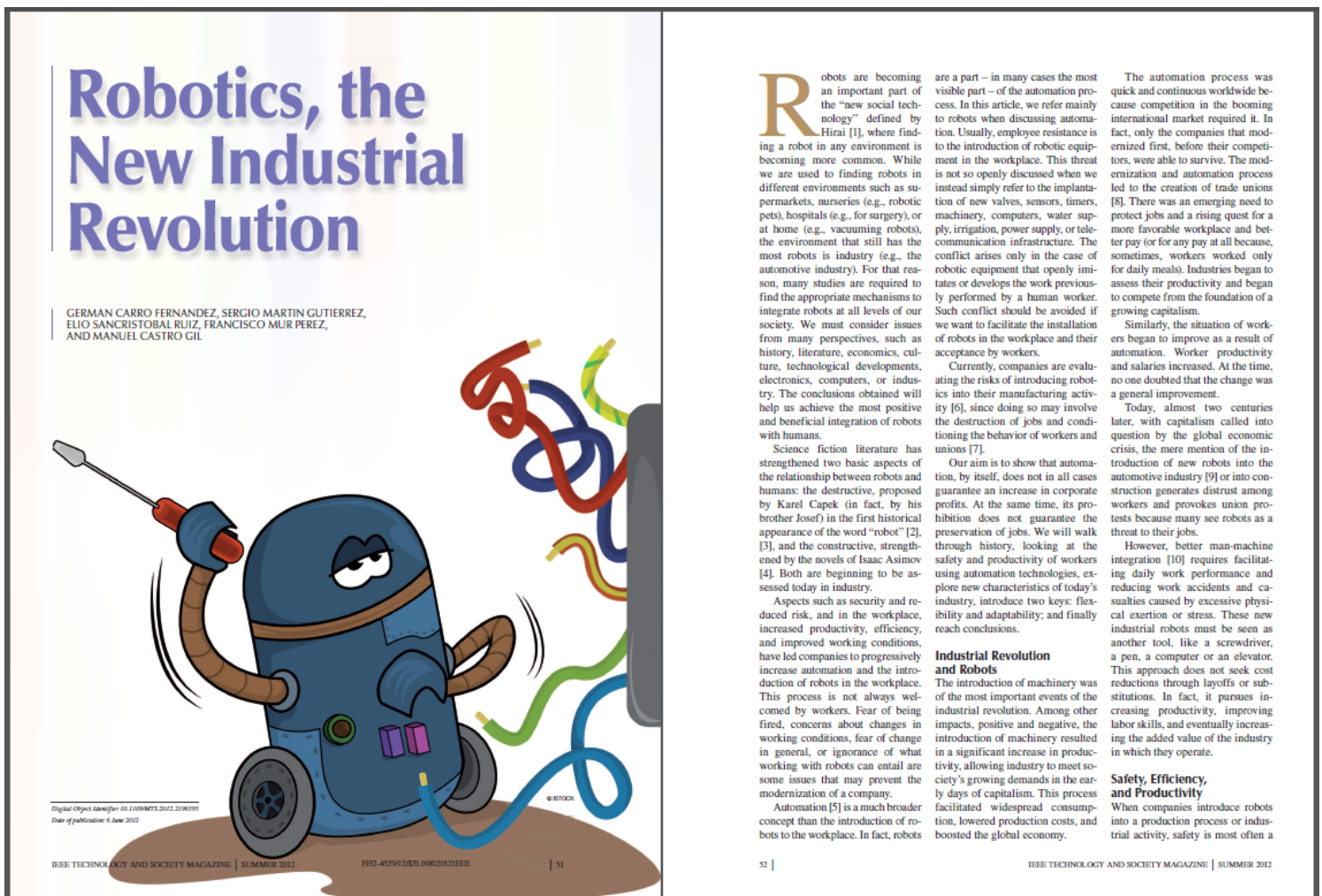
```
else
{
if($activo)
$sql="SELECT A.id_lab FROM labs AS A LEFT JOIN managelabs AS B ON
A.id_lab=B.id_lab WHERE A.Name LIKE '". $nombre[0]. "' AND B.activo=1";
else
$sql="SELECT A.id_lab FROM labs AS A LEFT JOIN managelabs AS B ON
A.id_lab=B.id_lab WHERE A.Name LIKE '". $nombre[0]. "'";
}
$res=mysql_query($sql);
for($i=0;$i<mysql_num_rows($res);$i++)
$labos[]=mysql_result($res,$i,"id_lab");
if(mysql_num_rows($res)==0)
$devolver="0";
else
$devolver=implode(",",$labos);
return $devolver;
}
?>
```


Otros méritos

Publicaciones

Durante los años de investigación de esta tesis doctoral se han realizado varias publicaciones vinculadas la misma, de ellas se pueden destacar dos:

1.- "Robotics, the New Industrial Revolution", publicada en la revista con índice de impacto: *Technology and Society Magazine*, IEEE.



Referencia en IEEE Xplore Digital Library:

Carro Fernandez, G.; Gutierrez, S.M.; Ruiz, E.S.; Mur Perez, F.; Castro Gil, M., "Robotics, the New Industrial Revolution," *Technology and Society Magazine*, IEEE, vol.31, no.2, pp.51,58, Summer 2012 doi: 10.1109/MTS.2012.2196595

Abstract: Robots are becoming an important part of the “new social technology” defined by Hirai [1], where finding a robot in any environment is becoming more common. While we are used to finding robots in different environments such as supermarkets, nurseries (e.g., robotic pets), hospitals (e.g., for surgery), or at home (e.g., vacuuming robots), the environment that still has the most robots is industry (e.g., the automotive industry). For that reason, many studies are required to find the appropriate mechanisms to integrate robots at all levels of our society. We must consider issues from many perspectives, such as history, literature, economics, culture, technological developments, electronics, computers, or industry. The conclusions obtained will help us achieve the most positive and beneficial integration of robots with humans.

URL: <http://ieeexplore.ieee.org.ezproxy.uned.es/stamp/stamp.jsp?tp=&arnumber=6213867&isnumber=6213848>

2.- "Flexibility of wireless technologies in learning in robotic laboratories", elaborada, presentada y defendida para el *Global Engineering Education Conference (EDUCON)*, de 2012, y premiada con el *Best Paper Award*.





IEEE

International
Conference

EDUCON

Best Paper Award in the category "Best Student Paper"

is presented to

Mr. German Carro Fernandez

For the paper "Flexibility of wireless technologies in learning in robotic laboratories"

IEEE Global Engineering Education 2012

Marrakesh, Morocco 17 – 20 April 2012

Russ Meier

Rachida Afhoum, Michael E. Auer and Martin Llamas

EDUCON 2012 Awards Chair

EDUCON 2012 Conference Chairs



<http://www.educon-conference.org/>



<http://www.educon-conference.org/educon2012/>

Flexibility of wireless technologies in learning in robotic laboratories

German Carro Fernandez, Elio Sancristobal Ruiz, Sergio Martin Gutierrez, Manuel Castro Gil, Francisco Mur Perez
Electrical and Computer Engineering Department
Spanish University for Distance Education (UNED)
Madrid, Spain

germancf@ieec.org, elio@ieec.uned.es, smartin@ieec.uned.es, mcastro@ieec.uned.es, fmur@ieec.uned.es

Abstract—This article analyzes the use of wireless systems in learning environments and explains the advantages of these when robots are used for educational purposes in recreational and industrial environments. This article reflects the importance that these tools may have in safety, efficiency and productivity of training in learning and e-learning as well as the motivation that this systems cause on the students.

Keywords: e-learning; learning; robot; training; wireless.

I. INTRODUCTION

By improving wireless, security, autonomy, and student attention focusing more on the robot itself and studying their behavior and avoid distractions caused by inadequate management of connection equipment. Reduced installation costs and the ability to interact with remote terminals are tricks to keep in mind when we reduce dependence on traditional wired in such environments [1].

There are several aspects that we will try, from the cost, ease of use, safety, or the autonomy that can provide the equipment used. This paper reviews different wireless tools in the market.

In a physical classroom, it is common for groups to perform work with a single robot [2]. If a group of three students we add equipment and wires, it can increase the risk of unintentional injuries. Couplers with the cables, inadvertently pulls, etc.

All this can damage the equipment used and, more importantly, distracting and creating risks for the students. Wireless communication reduce, greatly, these risks, allowing the students to focus on their learning objective.

The use of remote laboratories facilitate student interaction with materials in the laboratory using the Internet as a

Enable a learning environment, whether in an industrial or educational, focusing on robotics, avoiding unnecessary wiring will result in an increase in the safe handling robotic equipment and increased student interaction with them. The motivation and sense of progress in learning will be facilitated if more interaction 'test and error' with robotic equipment is allowed. The use of wireless systems facilitates this process.

II. WIRELESS COMMUNICATION

There are many alternatives offered by the market as wireless systems are concerned. It is generally use USB technology to connect to devices that will communicate themselves. So take advantage of the convenience of having a port of its kind to devote to technology wireless. It will describe the most commons.

A. IrDa port Communication:

Infrared Data Association (IrDA) defines physical standard mode of transmission and reception of infrared data [4]. This technology is based on light rays moving in the infrared spectrum. IrDA standards supports a wide range of electrical, computer and communications allowing bidirectional communication between two extremes at speeds ranging from 9,600 bps to 4 Mbps This technology is found in many laptops, mobile phones and common devices such as televisions and remote controls of these.

The mechanism in the case of robotics is the same as a remote control. In fact, a Home BoeBot infrared sensor can respond perfectly to the pulses received by a remote control and be controlled by it. The broadcast distance is usually 1 meter and its immediate advantage is that for the traditional load of data or software into a robot is usually much more comfortable than the transmission by cable. The

Referencia en IEEEExplore Digital Library:

Carro Fernandez, G.; Ruiz, E.S.; Martin Gutierrez, S.; Castro Gil, M.; Mur Perez, F., "Flexibility of wireless technologies in learning in robotic laboratories," *Global Engineering Education Conference (EDUCON), 2012 IEEE* , vol., no., pp.1,5, 17-20 April 2012 doi: 10.1109/EDUCON.2012.6201060

Abstract: This article analyzes the use of wireless systems in learning environments and explains the advantages of these when robots are used for educational purposes in recreational and industrial environments. This article reflects the importance that these tools may have in safety, efficiency and productivity of training in learning and e-learning as well as the motivation that this systems cause on the students.

URL: <http://ieeexplore.ieee.org.ezproxy.uned.es/stamp/stamp.jsp?tp=&arnumber=6201060&isnumber=6201007>

Organizaciones para la promoción de la tecnología y la ingeniería

Por otro lado se ha colaborado con instituciones nacionales e internacionales para promover la ciencia, ingeniería y tecnología. Por ello se han recibido los pertinentes certificados de reconocimiento.

1.- Por la divulgación y promoción de actividades como Presidente de la Rama de Estudiantes del IEEE en la UNED en colaboración con la Sección Española del IEEE.



2.- Por la divulgación y promoción de actividades como Presidente del Affinity Group del IEEE Graduate Of Last Decade (GOLD) en la propia Sección Española del IEEE.



Cursos en universidades internacionales

Si bien dado que mi trabajo no me ha permitido desplazarme ni realizar estancias en universidades internacionales, si he podido, gracias a las tecnologías de laboratorios remotos y a Internet, participar en cursos impartidos por alguna de ellas, en particular con la Stanford University . En concreto y para esta tesis doctoral hay dos de ellos que fueron relevantes:

- 1.- “Machine Learning”, impartido por el profesor Andrew Ng.

Statement of Accomplishment

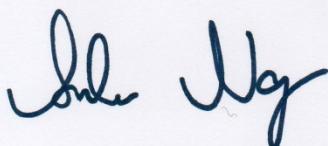
December 31, 2011

Dear German Carro Fernandez (germancf@ieee.org),

Congratulations! You have successfully completed the basic track of the online Machine Learning course (ml-class.org), offered October through December, 2011. To successfully complete the basic track of the course, students were required to watch lectures and complete review questions. Your score on the review questions was as follows:

Review Questions: 80 out of a maximum of 80

Sincerely,

A handwritten signature in blue ink, appearing to read "Andrew Ng".

Andrew Ng

Disclaimer: This online offering of Machine Learning does not reflect the entire curriculum offered to students enrolled at Stanford University. This document does not affirm that you were enrolled as a Stanford student in any way; it does not confer a Stanford grade; it does not confer Stanford credit; it does not confer a Stanford degree or a certificate; and it does not verify the identity of the individual who took the course.

2.- “Introduction to Artificial Intelligence”, impartido por los profesores Sebastian Thrun y Peter Norvig.

INTRODUCTION TO
Artificial Intelligence

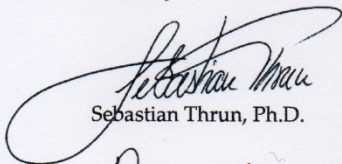
Statement of Accomplishment

December 21, 2011

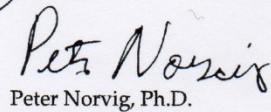
Dear German Carro Fernandez,

Congratulations! You have successfully completed the Basic Track of Introduction to Artificial Intelligence. Successful completion required answering 75% of the lecture quizzes.

Sincerely,



Sebastian Thrun, Ph.D.



Peter Norvig, Ph.D.

Disclaimer: This online offering of Introduction to Artificial Intelligence does not affirm that you were enrolled as a Stanford student in any way; it does not confer a Stanford grade; it does not confer Stanford credit; and it does not confer a Stanford degree or a certificate.

Revisor en Congresos internacionales

Como se indica en el Prefacio de esta tesis doctoral, he tenido la posibilidad de colaborar como revisor en diferentes Congresos Internacionales, de entre ellos cabe destacar el propio EDUCON, el ICL, y el FIE, estando actualmente registrado como revisor en la plataforma EDAS.



EDAS

[Home](#) [Submit paper](#) [My papers](#) [My reviews](#) [My TPCs](#) [Chairing](#) [Travel grants](#) [Register](#) [My profile](#) [Help](#) [Log out](#)

Current conferences where I am on the TPC

Only TPC memberships from conferences that have not ended are shown. You can also view [older conferences](#).

To accept or decline your TPC invitation or to change your tracks, follow the link in the 'Membership' column. To claim (request) papers for review, follow the link in the 'Want/Can/If needed' column. To review papers and to assign reviewers, follow the link in the 'Conference papers' column. You can see all the papers you have assigned by clicking on the icon in the 'Reviews requested' column. You can download a text file suitable for off-line reviewing and upload the completed form in the 'Upload' column. You can see all papers in the conference or your paper group in the 'Conference papers' column. To register for the TPC meeting, follow the icon in the 'TPC meeting' column.

| Conference (reviews assigned and requested) | Role (all actions) | Membership and tracks (change) | Reviews due (review) | Interests (edit) | Want / Can / If needed (claim) | Reviews assigned / confirmed (notify) / completed / missing | Review length indicator | Reviews requested | Assign reviewers from TPC | Download papers (clamped with paper and page numbers) | Upload reviews (for offline reviews) | TPC meeting | List / judge papers | TPC status | Program | Volunteer as Session Chair |
|---|---------------------|--------------------------------|-----------------------------|------------------|--------------------------------|---|-------------------------|-------------------|---------------------------|---|--------------------------------------|-------------|---------------------|------------|---------|----------------------------|
| FIE 2014 | designated reviewer | accepted every track | March 14, 2014 17:00:00 EDT | edit | 0/637/0 | 0/0/0 | | ↓ | | | | | not enabled | | | |

EDAS #172.233.114.26 (Thu, 24 Apr 2014 13:09:53 -0400 EDT) [User: 669493; 0.026/0.042 s] Request help

Participación en proyectos

Si bien a lo largo del texto se han citado varios proyectos nacionales e internacionales en los que SiLaRR se ha probado, es de destacar que actualmente mi mayor actividad se centra en proyectos vinculados al Capítulo Español de la Sociedad de la Educación del IEEE, al grupo EduQTech, y al proyecto eMadrid, aparte del proyecto TechnoMuseum y Go-Lab ya citados.



D^a Inmaculada Plaza García, con NIF 17731855M, Presidenta del Capítulo Español de la Sociedad de Educación del IEEE y Coordinadora del grupo de I+D+i EduQTech (Education – Quality – Technology) de la Universidad de Zaragoza

INFORMA:

Que es la investigadora responsable del proyecto cuyos datos figuran a continuación:

Título del proyecto: Techno-Museum: Discovering the ICTs for Humanity

Entidad financiadora: IEEE Foundation Grant #2011-118LMF

Entidades participantes: IEEE Spanish Education Society Chapter, IEEE Student Chapter IEEE Education Society at IEEEsb UNED, Grupo EduQTech (Universidad de Zaragoza), DIEEC (Universidad UNED).

Duración, desde: enero 2012 hasta: diciembre 2013

Cuantía de la subvención: 10,400 \$

Investigador responsable: Inmaculada Plaza

Así mismo, informa que D.

Don German Carro Fernandez

forma parte del equipo investigador de dicho proyecto.

Y para que así conste y a petición del interesado firma en Teruel, a 19 de diciembre de 2011.

A handwritten signature in blue ink, appearing to read 'Inmaculada Plaza', is written over a horizontal line.

Fdo: D^a Inmaculada Plaza García



D. **Miguel Rodríguez Artacho**, Profesor Titular de la ETSI de Informática de la UNED y Coordinador del proyecto eMadrid (S2009/TIC-1650) en la Universidad Nacional de Educación a Distancia:

HACE CONSTAR: Que D./D^a. **GERMÁN CARRO FERNÁNDEZ** ha participado como investigador en el proyecto que a continuación se detalla:

"eMadrid: Investigación y desarrollo de tecnologías para el eLearning en la Comunidad de Madrid"

| | |
|----------------------------|---------------------------------|
| <i>Coordinador general</i> | Dr. Carlos Delgado Kloos (UC3M) |
| <i>Financiación</i> | Comunidad de Madrid |
| <i>Periodo</i> | 2010-2014 |

Y para que así conste, firma y expide el presente certificado en Madrid a 19 de marzo de 2014.

Fdo.

Miguel Rodríguez Artacho

Departamento de Lenguajes y Sistemas Informáticos
ETS de Ingeniería Informática (UNED)
C/ Juan del Rosal, 16
28040, Madrid

Tel: 91 398 79 83
Fax: 91 398 93 82

www.lsi.uned.es

Promoción y divulgación mediante la impartición de cursos y talleres

Durante esta tesis doctoral se ha hablado de la importancia que tiene el concienciar, enseñar y formar sobre la robótica. Desde el año 2006 llevo impartiendo cursos y talleres, de varias disciplinas tecnológicas, pero en particular sobre robótica. Se adjuntan los siguientes certificados como una pequeña muestra de esa actividad.





**UNIVERSIDAD NACIONAL DE
EDUCACIÓN A DISTANCIA**
Centro Asociado de la UNED de A Coruña

CERTIFICADO

La La Directora del Centro UNED A Coruña, considerando que

Germán Carro Fernández

con NIF nº 34895795B

ha participado en

Definición de Conceptos básicos y metas a conseguir, el día 2 de junio de 2012, Elementos básicos de electrónica, diseño de circuitos y soldadura, el día 9 de junio de 2012, Sensores, el día 16 de junio de 2012, Actuadores, el día 23 de junio de 2012, Iniciación a la placa de arduino, el día 30 de junio de 2012, Algoritmos de programación, el día 7 de julio de 2012 y Programación del robot, el día 14 de julio de 2012

en el curso

CURSO DE INICIACIÓN A LA ROBÓTICA

celebrado los días del 2 de junio al 14 de julio de 2012, expide el presente Certificado.

Susana Blanco Miguélez
La Directora del Centro UNED A Coruña

A Coruña, a 20 de julio de 2012

Nº de horas: 21



Promoción y divulgación mediante actividades cooperativas

La vinculación con los museos, el MUNCYT y otros museos de la ciudad de la Coruña, ha sido intensa y cercana desde el año 2006. Una de nuestras actividades cooperativas de más éxito fue la organización del Congreso Nacional de Ramas de Estudiantes del IEEE de España. Como vicepresidente de la Rama en aquel momento asumí la responsabilidad de la organización del evento con la colaboración de Ramón Carrasco y el visto bueno del presidente en aquel momento; Elio Sancristobal.

La planificación del evento se realizó en colaboración con todos los museos de Coruña, impartiendo cada día las conferencias pertinentes en cada uno de ellos. El itinerario seguido aún está disponible en el blog de nuestra Rama de estudiantes del IEEE en la UNED: <http://ieee-uned.org/cnr-2010/>. Fue una combinación de ciencia, divulgación, tecnología y esparcimiento, directamente con los museos de la ciudad. La demostración de que la ciencia no está reñida con la diversión.



Colaboración con otras universidades

Dentro de las actividades de promoción con el IEEE, también he realizado e impartido charlas animando a los estudiantes de otras universidades a que se impliquen en la ingeniería y en la tecnología en general. Este certificado muestra una de las charlas realizadas en la Universidad de A Coruña, en el campus de Ferrol. Porque para desarrollar tecnología antes hay que conocer qué es lo que se está haciendo actualmente en el mundo, y el IEEE es una herramienta muy útil para ese conocimiento.

Departamento de Enxeñaría Industrial



UNIVERSIDADE DA CORUÑA

JOSÉ LUIS CALVO ROLLE, DIRECTOR DEL DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA INDUSTRIAL DE LA UNIVERSIDADE DA CORUÑA

HAGO CONSTAR:

Que D. **Germán Carro Fernández**, con D.N.I. 34895795 B, impartió la charla **¿Qué es el IEEE?** dentro del marco de la Jornada **Sesión informativa sobre el IEEE**, organizada por este Departamento y celebrada el 24 de noviembre de 2011 en la Escuela Universitaria Politécnica.

Y para que conste, firmo el presente en Ferrol, a 24 de noviembre de 2011



E.U. Politécnica
Avda. 19 de Febrero, s/n.
15405 FERROL
Teléfono: 981 337400 – Ext: 3016

Participación en sociedades internacionales de ingeniería

- Instituto de Ingenieros Eléctricos y Electrónicos (IEEE, Institute of Electrical and Electronics Engineers) – Desde marzo de 2006 hasta la actualidad.
- IEEE Robotics and Automation Society (RAS) – Desde enero de 2008 hasta la actualidad.
- IEEE Computer Society – Desde enero de 2008 hasta la actualidad.
- IEEE Education Society – Desde enero de 2010 hasta la actualidad.
- IEEE Women in Engineering – Desde enero de 2007 hasta la actualidad.
- IEEE Aerospace and Electronic Systems Society – Desde enero de 2008 hasta diciembre de 2009.
- IEEE Computational Intelligence Society – Desde enero de 2008 hasta diciembre de 2011.
- IEEE Systems, Man, and Cybernetics Society – Desde enero de 2008 hasta diciembre de 2009.
- IEEE Communications Society – Desde enero de 2010 hasta diciembre de 2012.

Cargos en sociedades o asociaciones

- ✓ Vocal en la Junta Directiva del Colegio de Economistas de A Coruña de 1999 a 2004 (<http://www.economistascoruna.org/>).
- ✓ Coordinador del Comité de Actividades Generales de la Rama de Estudiantes del IEEE en la UNED de 2006 hasta 2008 (www.ieee-uned.org).
- ✓ Vicepresidente de la Rama de Estudiantes del IEEE en la UNED de 2008 hasta 2010.
- ✓ Presidente de la Rama de Estudiantes del IEEE en la UNED de 2010 hasta el 2012.
- ✓ Presidente del Capítulo estudiantil de la IEEE Education Society en la Rama de Estudiantes del IEEE en la UNED desde diciembre de 2010 hasta la actualidad.
- ✓ Presidente de la IEEE GOLD AG en España desde agosto de 2011 hasta marzo de 2014 (<http://www.ieeespain.org>).
- ✓ Vocal del Capítulo Español de la IEEE Computer Society desde diciembre de 2012 hasta la actualidad.
- ✓ Tesorero en la Sección española del IEEE desde marzo de 2014 hasta la actualidad (<http://www.ieeespain.org>).