

# **Iniciativas multidisciplinares de software y hardware abierto como apoyo a la formación técnica: El caso del proyecto MECAA.**

## **Área Temática: La Educación en la Ingeniería Industrial, Emprendedorismo e Ingeniería Industrial**

Ozono, Maximiliano\*, Prado Susana, Agotegaray Juan Carlos.

*Instituto de Industria, Universidad Nacional de General Sarmiento.*

*Juan María Gutiérrez 1150, 1613 Los Polvorines, Buenos Aires. Correo: [mozono@ungs.edu.ar](mailto:mozono@ungs.edu.ar)*

### **RESUMEN.**

La formación técnica, tanto a nivel medio como en niveles de pregrado y grado, contribuye a la formación del capital humano necesario para el desarrollo de nuestro país. En los últimos años, las políticas públicas han orientado los esfuerzos en complementar la formación teórico-práctica tradicional con la introducción de las tecnologías de la información y la comunicación, con el objetivo de formar y desarrollar capacidades en los futuros profesionales con la realización de experiencias tangibles y motivantes, en paralelo a la disponibilidad de herramientas digitales de uso libre y al surgimiento de espacios de creación de conocimiento colectivo en la plataforma Web 2.0, de uso frecuente en el aula y en el laboratorio. En el presente trabajo nos proponemos analizar, mediante un estudio de caso, el vínculo existente entre las diferentes estrategias que buscan complementar e incentivar el interés y la motivación en la formación técnica y las iniciativas de hardware y software abierto, centrándonos en el caso del proyecto Máquina Educativa CNC Abierta Argentina (MECAA), una iniciativa multidisciplinar de código abierto que tiene como objetivo brindar un primer acercamiento al mundo de las tecnologías de control numérico a los estudiantes de carreras técnicas, brindándoles la posibilidad de participar no sólo como usuarios de dichas tecnologías, sino como protagonistas en el diseño, la construcción, la programación y la modificación de las máquinas y las interfaces de control de las mismas. Se analizará el caso de estudio a la luz de experiencias previas que vinculan proyectos de código abierto y formación técnica.

Palabras Claves: Educación técnica, motivación, open hardware, makers, CNC.

### **ABSTRACT.**

Technical training, both mid-level and undergraduate and graduate levels, it contributes to the formation of human capital needed for the development of our country. In recent years, public policies have focused efforts complement the traditional theoretical and practical training with the introduction of information and communications technology, in order to form and develop skills for future professionals with the realization of experiences tangible and motivating, parallel to the availability of free use digital tools and the emergence of spaces for creation of collective knowledge on the Web 2.0 platform, often used in the classroom and in the laboratory. In this paper we analyze the link between the different strategies that seek to complement and stimulate interest and motivation in technical training and initiatives open hardware and software, through a case study, focusing on the case of the project Argentine Open Educational CNC Machine (MECAA), a multidisciplinary open source initiative that aims to provide a first approach to the world of digital control technologies to technical students, giving them the opportunity to participate not only as users of such technologies but as protagonists in designing, building, programming and modification of machines and control interfaces of the same. Case study in the light of previous experiences linking open source projects and technical education will be analyzed.

## 1. Introducción

Hoy en día asistimos a grandes cambios en lo que refiere a los métodos de enseñanza tradicionales, y el uso de herramientas como apoyo a la formación profesional. Con el devenir de Internet y de las nuevas tecnologías, la cantidad de recursos –digitales y físicos- de los que dispone un docente para llevar a cabo sus tareas de enseñanza no podrían haberse imaginado hace más de una década. No sólo los recursos informáticos se han introducido en el aula como apoyo de “*staff*” a la formación, sino que en muchos casos constituyen elementos altamente activos en la enseñanza diaria. De hecho, existe una preocupación al respecto desde la investigación académica en pos de darles mayor rol protagónico a los estudiantes a partir de estas tecnologías, en aras de incrementar la motivación y el interés, tal como señalan algunos autores [1,2].

Cuando se piensa en términos de formación técnica tanto en ámbitos de formación educativa media, en pregrado y grado, muy a menudo el sentido común nos suele remitir a la utilización de recursos tecnológicos fuertemente vinculados con las áreas formativas en cuestión, ya sean herramientas manuales, instrumental de medición, e incluso diferentes herramientas de uso industrial (tornos, fresadoras, bancos de taladrado, etc.). El empleo de recursos didácticos y de alto contenido tecnológico ha venido incrementándose con el paso de los años, en línea con la popularización de los medios digitales y la sofisticación de la sociedad de la información, la modernización en materia de mobiliario de escuelas y universidades, y también en gran parte gracias a las políticas educativas que permiten que la difusión de tecnologías duras y blandas alcance a sectores que otrora estaban fuera del alcance. Ejemplo de esto es el programa *Conectar Igualdad* [3], y los diferentes recursos que vienen incluidos en las computadoras suministradas a los estudiantes. Uno de los factores que ha permitido la difusión y uso *in extenso* de estos recursos tecnológicos ha sido el hecho de que se encuadran dentro de lo que se denomina “código abierto”, es decir se trata de recursos que pueden ser empleados en otras actividades, modificados y redistribuidos, de forma original o derivada [2].

En el presente trabajo analizaremos las características que presenta la introducción de hardware de código abierto en el aula, tomando como caso de referencia el proyecto *Máquina Educativa CNC Abierta Argentina* (MECAA), una iniciativa multidisciplinar surgida en el seno del grupo multidisciplinario de robótica de la Universidad Nacional de General Sarmiento, creada con el objetivo de brindar un primer acercamiento al mundo de las tecnologías de control numérico a estudiantes, docentes y el público en general, haciéndolos partícipes en el diseño, la fabricación, modificación y uso de las máquinas y el software/firmware con el que ellas operan. En la primera parte presentaremos el marco contextual sobre el que se desarrolla el trabajo. Esto implica analizar el vínculo entre tecnología y motivación dentro del aula, los antecedentes en torno al uso de hardware abierto en la formación técnica, y las vinculaciones entre el uso de hardware y software abierto en el aula. También analizaremos otras tecnologías y fenómenos que también se hacen presentes en este ámbito, tales como la impresión 3D, la plataforma Arduino y el surgimiento de la cultura basada en el hacer o movimiento *maker*. Seguidamente mencionaremos las iniciativas locales en torno a esta temática. En la segunda parte, describiremos y fundamentaremos las razones para la creación del proyecto MECAA, así como la estructura mediante la cual fue creado, a la luz de lo presentado en la primera parte. Además, mencionaremos las diversas experiencias recientes en torno al proyecto. Finalmente en las conclusiones comentaremos algunos resultados y aspectos a considerar a futuro para la continuidad del proyecto.

## 2. Marco contextual

### 2.1 El uso de tecnologías de punta en el aula.

Está claro que hoy en día asistimos a un derrame tecnológico hacia el interior de las aulas. La tecnología ha facilitado herramientas que permiten complementar la formación tradicional con recursos didácticos que buscan la participación activa de los estudiantes [1], es decir, incrementar su motivación. Los modelos educativos centrados en el alumno plantean que el profesor debe facilitar el tratamiento de problemas y preguntas significativas para los alumnos asociadas a los contenidos, favoreciendo la aptitud del alumno para aprender a interrogar e interrogarse dentro de las condiciones donde se desarrolla el proceso educativo. Esto explicita que además de tenerse en cuenta que el aprendizaje involucra aspectos cognoscitivos, también deben considerarse los aspectos sociales del entorno [4]. Las tecnologías en el aula son útiles en tanto y en cuanto sirvan para que el estudiante se comprometa en las actividades de aprendizaje, y de esta forma pueda construir más interpretaciones y representaciones personales de la realidad [5]. Pons *et al*[2], al referirse a la introducción de recursos tecnológicos en la escuela, señala que los primeros

proyectos que buscaban acercar las tecnologías digitales al aula involucraban el uso de las plataformas digitales emergentes con elementos no-digitales, tales como robots manejados desde una PC. Pero la presencia de este tipo de elementos se fue reduciendo en proporción inversa a la introducción de las computadoras en ámbitos educativos, dejando de lado cualquier otro tipo de recursos tecnológicos no-digitales. Estos autores señalan que debido al hecho de que ciertas estructuras cognitivas no se desarrollan en ausencia de material físico concreto, la ausencia de elementos no-digitales podría originar una laguna en la formación. En este sentido, la recuperación del uso de recursos tecnológicos más tangibles en el aula en años recientes, tales como los kits de robótica para no expertos, ha permitido el resurgimiento de proyectos basados en estas temáticas, que incluso trascienden la formación técnica de niveles superiores hacia otras disciplinas, alcanzado niveles educativos que van desde el pre-escolar hasta la universidad.

## **2.2 Antecedentes: Hardware abierto y educación**

El uso de hardware abierto no ha sido ajeno a los diferentes enfoques y marcos metodológicos en torno a la formación educativa. En particular, si se analiza el ámbito académico en torno a las carreras con un fuerte contenido técnico, particularmente las ingenierías, se podrán observar diferentes experiencias respecto a la introducción de hardware abierto en el aula. En este punto se hace necesario aclarar qué se entiende por hardware abierto. Tal como señala Rubow [6], no existe un consenso en torno a una definición clara de hardware abierto, pero en general, se asume que se trata de objetos tangibles que cumplen con las siguientes características: a) el diseño del hardware, datos, planos y demás debe ser de acceso público, b) el acceso al hardware debe hacerse explícitamente público y c) Las herramientas con las que se diseñó y/o programó también, para que otros puedan modificarlo. De esta forma, tal como señala Gibb [7], podemos encontrarnos con hardware abierto y libre que constituya un derivado del proyecto original o bien un clon o una copia (no se incluyen las marcas de quienes los fabrican, sólo los diseños). No entran dentro de esta categoría las falsificaciones, en donde existen producciones físicas con marca que ha sido copiada por otro fabricante o diseñador (esto no incluye a los diseños).

La relevancia del hardware abierto debe ser rastreada en otras iniciativas vinculadas, particularmente aquella referida al *software abierto* y al *software libre*, principalmente porque algunos autores señalan que existe un círculo virtuoso entre educación, creatividad-innovación y software libre. (Cobo) [1]. Esta cuestión no es menor si se considera el hecho de que la creatividad en el proceso formativo contribuye a estimular la auto motivación, el autoaprendizaje, la confianza, la curiosidad y la flexibilidad [1,2].

De todas formas el abanico de hardware *open source* actualmente es muy amplio, y no todas las actividades didácticas o de apoyo a la formación técnica pueden llevarse a cabo con él. De hecho, tal como señala Pearce [8] en relación al uso de equipamiento basado en hardware libre para laboratorios, muchas de estas iniciativas se encuentran en una etapa primigenia, dado que maquinarias, procesos y herramientas muy complejas no puede hacerse de esta forma, ya sea por costos o por la especificidad de los conocimientos necesarios. Sin embargo, otros autores [9] señalan que en un laboratorio, la calidad de los equipos puede afectar el desarrollo de las investigaciones, pero en el aula donde este factor se vuelve más difuso (dado que no siempre se buscan resultados exactos, sino que en muchos casos se busca apoyo didáctico), el costo debe ser tenido en cuenta. En este sentido podemos mencionar como referencia la experiencia de dos proyectos de código abierto focalizados en la robótica móvil. Por un lado, el proyecto *Eddy*, consistente en un robot pequeño de bajo costo orientado a la formación en escuelas secundarias. En este caso, el argumento empleado por los autores comparte con Pearce la mirada en torno al alto costo de los equipos de laboratorio, en especial de robótica, cuestión que puede dejarse de lado si se piensa en términos de robótica educativa, en donde se buscan robots que sean baratos, seguros y fáciles de usar. Al respecto, la plataforma *Eddy* debía ser barata, fácil de armar, de bajo consumo y lo más estandarizada posible para poder acoplarse a sistemas operativos como Linux. El caso del robot e-puck[10], focalizado en la formación y experimentación en laboratorios de ingeniería también va en esta línea, ampliando el rango de posibilidades de uso al procesamiento de señales, automatización, programación embebida y a la articulación con otros sistemas de simulación, tales como *Webots* y *Enki*. De los casos anteriores, se observan que existen iniciativas de código abierto vinculadas ampliamente con la robótica móvil. Esta tendencia se puede observar también en las iniciativas de algunas compañías como *Parallax* y *RobotGroup* en Argentina, focalizadas en desarrollar robots móviles para el aula o el laboratorio. Algunas de estas son previas incluso a la masificación de la *Web 2.0* y las diferentes iniciativas de código abierto que actualmente se conocen, lo cual habla de un interés y relevancia del tema que aún sigue vigente. Pero si pensamos en el universo del hardware abierto y sus potencialidades en la educación, las posibilidades de vinculación van más allá de la robótica móvil.

### 2.3 El “código abierto” y el movimiento maker

Hay que destacar el hecho de que la idea de código abierto no es nueva. Desde que Linus Torvalds comenzó el proyecto *Linux* [11], ya habían surgido previamente iniciativas vinculadas al código abierto. De hecho, el propio origen del “código” se remonta a la investigación científica, por lo que en sus inicios no existía ningún tipo de protección legal que restringiera la modificación y difusión tanto de programas como de sistemas operativos. Fue con el desarrollo de la informática como un mercado separado de la electrónica, a finales de los ‘60, que las empresas dedicadas a este sector del mercado (antiguas y emergentes), comenzaron a restringir las posibilidades de indagar y modificar el código fuente de sus programas, sin que pesara algún tipo de registro de propiedad intelectual como paso intermedio, algo que sucedió por medio de las *licencias de software*. Aún así, muchas de las comunidades de usuarios y programadores que existían desde los orígenes de la informática siguieron trabajando en software de código abierto, hasta que en 1983 Richard Stallman inició el proyecto *GNU* (que daría lugar más tarde a la Licencia Pública GNU). Desde allí y hasta el día de hoy, el software libre fue cabalgando en silencio, cobrando cada vez más relevancia pero aún a la sombra de los grandes sistemas operativos bajo licencia que hacían de base para el software comercial desarrollado bajo los mismos parámetros. Las comunidades en torno al software libre crecían en relevancia, como una actividad focalizada sólo en ciertos círculos de programadores y usuarios especializados, que lentamente fue abriéndose paso. El hecho central que ha permitido un gran avance del software libre ha sido la popularización de Internet, a partir de lo que se conoce como Web 2.0 [12] y el rol creador de contenidos que ella ofrece al internauta, lo cual ha permitido la expansión y creación de nuevas comunidades en torno a las iniciativas de código abierto, encontrando su auge con el surgimiento de las “.COM” y el florecimiento de herramientas y plataformas de código abierto (como los servidores *Apache*, que sostienen gran parte de la *red*). Hasta aquí, sólo nos referimos al software abierto, porque hasta ese entonces se suponía que el hardware, al involucrar procesos de manufactura que involucraban altos costos, además de un elevado conocimiento aplicado al proceso productivo, sólo podía ser desarrollado por grandes empresas con trayectorias sendero dependientes en tecnologías exponenciales, difíciles de alcanzar para meros usuarios.

Esta situación cambiaría en el año 2005 con la aparición de *Arduino*, una plataforma de hardware abierto altamente flexible y que rápidamente se popularizó. Lo particular de la popularización de *Arduino* fue el hecho de que se convirtió en una herramienta de trabajo no sólo para ingenieros o técnicos, sino también para artistas, hobbyistas, programadores, diseñadores y cualquiera que estuviera interesado en ella, lo cual constituyó un precedente para proyectos posteriores. En cierta forma, *Arduino* se encargó de acercar el mundo de los microcontroladores a un público totalmente nuevo y distante de la electrónica [13] en muchos casos, de una forma amigable y no aislada. Todo esto fue posible gracias a: a) La arquitectura abierta del proyecto b) La existencia de una comunidad en línea junto con la documentación asociada c) El bajo costo de las placas d) El hecho de que las placas sean *Plug and Play* y puedan usarse en cualquier computadora con puerto USB, en varias plataformas[14].

El proyecto *Arduino* sentó los precedentes para lo que en pocos años sería conocido como *movimiento maker*, un conjunto de iniciativas muy emparentadas a lo que fue sucedido en los inicios del código abierto en el desarrollo del software, pero aplicado a la manufactura [15,16]. Los *makers* –como se los conoce–, comparten diseños, código e ideas globalmente gracias a la posibilidad de generar y compartir contenidos que propone la Web 2.0 [17], pero los procesos de “fabricación” ocurren localmente. Comparten un origen en común con *hackers* y defensores del *open software*, pero remiten sus orígenes a ciertas actividades vinculadas a *hobbyistas* y a lo que se conoce como iniciativa *Do it Yourself (DIY)*. De hecho, para muchos se trataría de una evolución de las iniciativas de código abierto digitales traídas al espacio físico y no es casualidad que muchos proyectos que pueden englobarse dentro del paraguas del movimiento *maker* también se solapan con iniciativas de software abierto. Los *makers* han constituido un grupo auto identificado con una cultura basada en el trabajo colaborativo y el libre acceso a la información, y en torno a las diferentes iniciativas ha surgido un ecosistema que engloba empresas tecnológicas emergentes, eventos, publicaciones especializadas, comunidades en línea y espacios de trabajo colaborativos, conocidos como laboratorios de fabricación digital o *makerspaces*. Estos espacios de trabajo colaborativo están provistos de herramientas de trabajo y diseño, en los que aquellos interesados pueden acceder, a través de una membresía, al uso de las máquinas (generalmente a través de personal calificado que las opera) y a las herramientas de diseño. En este aspecto, estos espacios de trabajo ofrecen herramientas de uso común (tales como bancos de taladrado, sierras, tornos manuales, etc.) así como la posibilidad de usar máquinas herramientas de control numérico

(grabadores y cortadores láser, routers y principalmente impresoras 3D). Pero lo más importante de estos espacios de trabajo son las interacciones sociales que se producen y que generan espirales de conocimiento ascendentes así como redes. Basados en una filosofía que apunta a la horizontalidad de la información, en general puede encontrarse en ellos a personas con un amplio espectro en materia formativa: desde ingenieros a arquitectos, estudiantes, entusiastas y hobbistas participando en proyectos en común: Desde dispositivos para ciudades inteligentes empleando tecnologías basadas en el *Internet de las cosas* (IoT) hasta el diseño de nuevas impresoras 3D, arquitectura paramétrica, etc., conectándose con otros espacios de trabajo colaborativo alrededor del globo, compartiendo los proyectos en línea como *open hardware*. Todos estos procesos no han sido ajenos a la realidad de nuestro país, en donde estas iniciativas, surgidas en los países centrales, se han adaptado al contexto local, surgiendo *makerspaces* locales, así como eventos e iniciativas privadas y públicas que buscan incentivar las actividades vinculadas a la fabricación digital, tales como los cursos y “ferias de hacedores” de la Ciudad de Buenos Aires, y el surgimiento de empresas locales que fabrican y venden impresoras 3D.

El elemento de trabajo central que ha sido el signo distintivo y el recurso por excelencia de la mayoría de estos espacios de trabajo colaborativos es la impresora 3D. Estos dispositivos se han popularizado de forma exponencial, en parte gracias a la difusión mediática, pero también gracias a la relativa disponibilidad y bajos costos, si se los compara con otras máquinas de uso industrial. En este punto es necesario aclarar que las impresoras 3D que han inundado el mercado se basan principalmente en los diseños y conceptos del proyecto RepRap [18, 19]: una iniciativa de hardware abierto creada en el año 2008 que se basó en plataformas tales como Arduino para desarrollar una impresora libre, barata y auto replicante, que emplea técnicas de deposición de material para fabricar piezas, y que se opera mediante control numérico por computadora. Lo relevante de todo este fenómeno, y que es el hecho que ha permitido la popularización de las tecnologías de control numérico entre el público en general, es que estas máquinas hayan sido desarrolladas como “máquinas de escritorio”. Esta es una tendencia que ha estado gestándose en los últimos 30 años, iniciándose en el desarrollo de las primeras computadoras y sus diferentes periféricos, hasta el día de hoy. No solo encontramos “tecnología CNC de escritorio” en las impresoras 3D, sino que también actualmente existen routers cnc, cortadores y grabadores láser, tanto de código abierto como de producción privada.

#### **2.4 Experiencias locales recientes en torno al hardware abierto y la formación en el aula**

En el contexto local, existen actualmente diferentes experiencias e iniciativas que apuestan al hardware abierto. En este sentido, muchas de estas iniciativas se basan en la adopción de kits o herramientas ya existentes e implementadas exitosamente, tales como la plataforma Arduino, y los diferentes kits de robótica educativa producidos por empresas extranjeras y nacionales. También se pueden mencionar iniciativas surgidas localmente y con un importante rol asignado al aspecto formativo. En este aspecto, no se puede dejar de mencionar la *Computadora Industrial Abierta Argentina* (CIAA)[20], que en su versión Edu-CIAA está proyectada para alcanzar a estudiantes de diferentes niveles, comenzando por la educación primaria hasta el universitario. Este proyecto tiene como objetivo acercar la programación de sistemas embebidos hacia estudiantes y docentes, bajo los principios del open software y open hardware. De hecho, existe una fuerte articulación entre esta plataforma y el desarrollo de la enseñanza en el lenguaje abierto *Python*, lo que a la vez permite vincular el uso de la CIAA tanto en la ingeniería como en ámbitos propios de los sistemas informáticos. Por otro lado, el proyecto “*Programando con Robots y Software Libre*” es una iniciativa orientada a la enseñanza de la robótica en escuelas secundarias, que cuenta con un importante desarrollo en la Facultad de Ingeniería en la UNLP [21]. En este caso se observa una importante integración de plataformas de software libre tales como *Python* y *Android* empleando robots educativos de la serie “Múltiplo” de la firma nacional *RobotGroup*. También se hace referencia a la posibilidad de utilizar los recursos informáticos provistos por el programa Conectar Igualdad y las distribuciones del sistema operativo *Linux* que suelen acompañar a las máquinas. Las tecnologías vinculadas a la impresión 3D también llegan al aula, aunque el rol de los estudiantes y docentes en la mayoría de los casos pasa a ser el de un mero usuario, pese a aprender a usar herramientas de diseño y contar con la posibilidad de crear piezas tridimensionales.

### **3. Máquinas-herramienta de control numérico en la educación: El proyecto MECAA.**

Las tecnologías de control numérico están ampliamente difundidas en la industria desde hace mucho tiempo, pero su aparición dentro de las aulas sólo había sido posible hasta hace pocos años en el marco de laboratorios de ingeniería en los que se enseñaba a operar dichas máquinas. Existen muchos trabajos en torno a la aplicación de estas tecnologías en la industria [22-25],

dejándose muchas veces de lado su vinculación con la formación en las universidades. Tradicionalmente, la formación en torno a este tema sólo implica la participación de los estudiantes y docentes como usuarios de la tecnología, en muchos casos operando indirectamente a través de un operador o técnico calificado. Los equipos con los que se suele aprender y enseñar son de naturaleza industrial, por lo cual presentan un alto costo y su uso inadecuado conlleva el riesgo de lesiones graves. Por otra parte, en los últimos años, las impresoras 3D fueron acercándose gradualmente, primero a los laboratorios, y lentamente a los escritorios. Aún así, en muchos casos los establecimientos educativos que toman la iniciativa de tener una impresora 3D optan por comprarla, lo cual implica un desembolso de capital significativo. En este sentido, si bien las actividades de diseño y fabricación con estas máquinas actuarían como elemento motivacional, el rol en torno a estos dispositivos sigue siendo el de usuarios de dichas tecnologías. Como se mencionó previamente, los procesos de apropiación de saberes, la creatividad en el proceso de aprendizaje y otros factores contribuyen a estimular la auto motivación y el auto aprendizaje. Estas cuestiones no son ajenas al aula. Cuestiones asociadas al costo y los conocimientos previos necesarios para construir u operar estas máquinas han constituido barreras a la entrada para países como el nuestro, en donde a pesar de que la revolución digital ha sido apoyada por políticas públicas, recién en los últimos años vemos atisbos en torno a la fabricación digital. Aún así, el universo de la fabricación digital y las iniciativas del movimiento *maker* siguen siendo una novedad en estas latitudes. Si bien para una institución podría ser viable la adquisición de una impresora, lo cierto es que sería poco esperable que los estudiantes y docentes tuvieran libre acceso a su modificación, reparación, armado, transporte, etc. De esta forma, se forma un escalón intermedio “vacío” entre el rol de usuario y el rol participante. Es a partir de este análisis, y de la necesidad de integrar estrategias de motivación hacia los estudiantes que surge el proyecto MECAA.

El proyecto surge siguiendo la filosofía de código abierto anteriormente mencionada. La iniciativa comienza a raíz de las experiencias desarrolladas dentro del grupo de robótica *Meca Team* UNGS, particularmente desde un área de desarrollo del mismo conocida como *Espacio Maker*. El grupo de robótica de la UNGS se creó en el año 2013 con el objetivo de servir como soporte complementario a la formación académica de las carreras del Instituto de Industria de la universidad, focalizándose en la robótica móvil, pero con una metodología netamente lúdica. Desde que el grupo comenzó sus actividades de difusión de la robótica móvil a principios de 2013, siempre se priorizaron las inquietudes y sugerencias de los estudiantes que participaban del mismo. A partir del año 2014 las actividades del grupo se focalizaron en dos grandes áreas: Desarrollo de talleres introductorios a la robótica móvil abiertos a los estudiantes de la universidad y a estudiantes de secundaria, y el dictado de talleres sobre la plataforma Arduino. A partir del año 2015, se incluyen dentro de los talleres brindados el diseño y la impresión 3D

### **3.1 Descripción del proyecto.**

La idea del proyecto surge a partir de las experiencias previas con Arduino y el proyecto *GRBL* (una firmware de código abierto para controlar máquinas CNC) que uno de los integrantes del grupo de robótica tuvo previamente. Ésta iniciativa resultaba un tanto compleja para aquellos que no contaran con conocimientos del idioma inglés (dado que todas las discusiones y documentación se encuentran en ese idioma), además de que los procesos de carga, modificación y compilación del firmware se hacían fuera del IDE de Arduino, mediante la interfaz de línea de comandos *AVRDude*, lo que a priori significaba dominar dicha herramienta. Es por esto que un primer paso consistió en el desarrollo de un firmware que pudiera cargarse como un *sketch* desde el IDE de Arduino, y que luego pudiera ser modificado desde allí de forma sencilla. Empleando diversas librerías gratuitas propias del IDE, se creó una primera versión del firmware, que operaba mediante comandos por puerto serie sobre dos motores paso a paso y un servo. A partir de allí, el firmware se fue depurando y se hicieron pruebas con motores paso a paso comerciales y de bajo costo, surgiendo luego la idea de diseñar una máquina que contara con piezas hechas en la impresora 3D del laboratorio de ingeniería. Esta máquina, de la cual se observa el modelo más reciente en la Figura 1, fue bautizada como *Ploterrak*, un mini plotter que operaba en los planos X e Y mediante motores y un micro servo. Si bien la misma fue desarrollada con el software bajo licencia *Solid Works*, el formato con el que ha sido exportada permite editarla en otro software de uso libre.

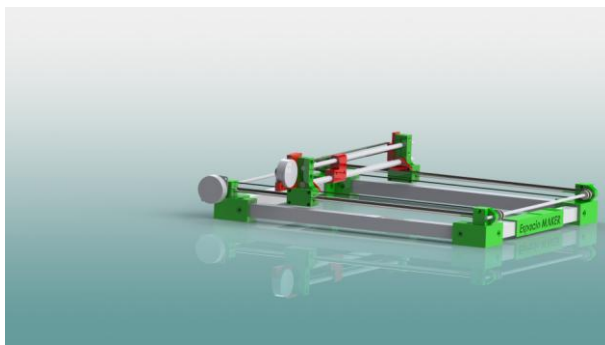


Figura 1. Ploterrak, la primera máquina diseñada en el proyecto.

Fue a partir de la decisión de presentar esta primera máquina con su *firmware* en el concurso *Innovar 2015* que se decidió darle forma a la iniciativa, dando lugar al proyecto MECAA. Los objetivos del proyecto pueden enunciarse de la siguiente manera:

- Brindar a los estudiantes un primer acercamiento al mundo de las tecnologías de control numérico, no sólo como usuarios sino como participantes en su creación, mediante software abierto, máquinas de bajo costo y componentes fáciles de conseguir.
- Construir una plataforma abierta, reutilizable y que pueda “sobrevivir en el tiempo”.
- Vincularse con otras tecnologías y recursos empleados en la formación: Software libre de diseño y programación, impresión 3D.
- Integrar la formación en ingeniería con otras disciplinas tales como diseño industrial, desarrollo de productos, sistemas informáticos e incluso áreas como la economía social.

El desarrollo del proyecto implicó la creación de una plataforma digital desde la cual se pudieran subir tanto los avances como la documentación del proyecto. Para ello, siguiendo la filosofía del hardware libre, se optó por crear una página en Internet [26], y colocar los diseños en el sitio *Thingiverse*, desde donde podrían ser bajados mediante la licencia *Creative Commons*, *previsualizados* y eventualmente ser replicados. El código fuente, por su parte, fue colocado en un enlace privado, pero actualmente se ha mudado hacia la plataforma *GitHub*. Todas estas iniciativas apuntan a la propagación del proyecto, lo cual permitiría que otros docentes y estudiantes interesados se sumen colaborando e incluso proponiendo sus propios diseños y mejoras al firmware. Al respecto, las áreas de trabajo del proyecto pueden dividirse en:

Diseños: Comprende el diseño de la estructura de las máquinas, empleando software libre, o en su defecto brindando la posibilidad de que estos diseños sean modificados de esta manera. En esta área se incluyen los diseños como *Ploterrak*. Muchos de estos diseños emplean partes recuperadas de impresoras de tinta, escanners, DVDs, etc.

Desarrollo de firmware y software de control: Comprende el firmware que recibe órdenes y gobierna los motores, y el programa *host* que permite enviar instrucciones a la máquina. También se incluyen los diversos programas que se crean para asistir en el proceso de conversión de diseños a coordenadas.

Desarrollo de la electrónica de control: Comprende la electrónica que se comunica con la computadora y que permite mover los ejes de la máquina. Se han desarrollado drivers de motores de bajo costo, compatibles con el proyecto *GRBL* y también versiones que emplean *buffers* como los integrados ULN2003, compatibles con el firmware de la máquina. Los esquemas de estos diseños están disponibles para bajar, realizados con el software *Fritzing*, que es de uso gratuito. Posterior al diseño de la primera máquina, se decidió encarar el desarrollo de una nueva máquina, más compacta y sencilla, originalmente pensaba para asistir al diseño de circuitos impresos para pequeños prototipos, mediante un fibrón que dibujara las pistas. Esta máquina fue diseñada usando el software *Blender*, de uso libre. Está basada en un diseño preexistente de código abierto, bajo la licencia *Creative Commons*, pero fue optimizada para racionalizar la cantidad de plástico necesaria y la utilización de componentes. Esa máquina fue bautizada como *Rogelia*, y tal como se observa en la Figura 2, tiene un área de trabajo real de 80x80mm.

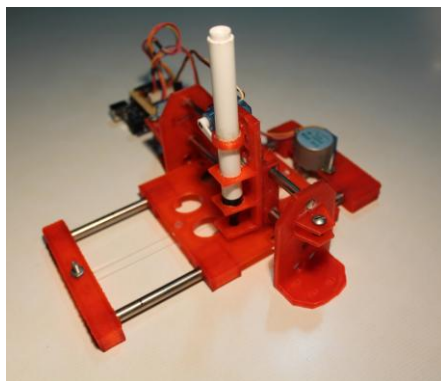


Figura 2. *Rogelia*, la segunda máquina diseñada y construida en el marco del proyecto, diseñada con software libre y utilizando la impresora 3D del Laboratorio de Ingeniería de la UNGS.

Para probar la precisión de la máquina, se creó un conversor de código Gerber RS 274 (que se generaba desde el software *Fritzing* de diseño de PCBs) al código simplificado que operaba la máquina. Esto también llevó a la creación del programa host, empleando el lenguaje e IDE *Processing*, del cual puede verse una representación de su estado actual.

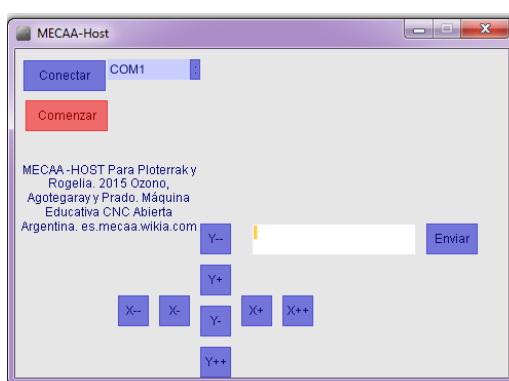


Figura 3. Ejemplo del programa host de control para las máquinas realizado en el lenguaje *Processing* empleando la librería de código abierto *G4P*.

### 3.3 Estado actual del proyecto y pasos a futuro.

El proyecto MECAA se encuentra en una etapa inicial, en la que se busca ganar el interés de los estudiantes en la temática, cuestión que en el ámbito local ha sido exitosa. Esto se ha logrado mediante difusión y muestras dentro del grupo de robótica, pero también en vinculación con otras materias y carreras, tales como la Licenciatura en Sistemas. Como un paso a seguir, se espera involucrar a los estudiantes de la carrera de Ingeniería Industrial de la Universidad, particularmente desde la materia Desarrollo de productos. Así mismo, se están programando diversas presentaciones en eventos vinculados al hardware abierto y a la importancia del mismo en la educación.

Actualmente están surgiendo diversos proyectos vinculados a la iniciativa del proyecto MECAA. A raíz de un gran número de charlas y exposiciones de las máquinas, diversos estudiantes de la universidad se han acercado para iniciar sus propias máquinas CNC empleando parcial o totalmente el firmware del proyecto, e incluso modificándolo. En este sentido, podemos mencionar la iniciativa de un estudiante de sistemas de fabricar una máquina más pequeña que *Rogelia*, recuperando partes de lecto-grabadoras de DVD en desuso. También podemos mencionar los experimentos realizados por otro estudiante de Ingeniería en Electromecánica en torno a la utilización de parte del firmware para controlar un sistema de iluminación comandado por puerto serie, lo que da evidencia del potencial del proyecto para ser utilizado de forma versátil en iniciativas emparentadas en mayor o menor medida.

Un paso posterior a futuro consistirá en la adaptación de un módulo láser de bajo costo a una de las máquinas, para que pueda realizar dibujos en relieve. También se espera desarrollar un router CNC realizado con materiales comunes y de bajo costo, que pueda fresar y cortar materiales blandos, empleando una nueva versión del firmware modificado.



#### 4. Conclusiones

A lo largo de este trabajo, se ha pretendido analizar la relevancia que tienen hoy en día las tecnologías de código abierto dentro del aula, principalmente en lo que refiere a la motivación de los estudiantes. Al focalizarnos en el hardware abierto, elemento central de lo que se conoce como movimiento *maker* –y que ya se encuentra instalado en nuestra cultura-, y en las potencialidades que tiene para ofrecer en materia educativa, se han analizado las diferentes iniciativas que han surgido en otros países y en el ámbito local, considerando sus logros y limitaciones. También hemos visto que muchas de estas iniciativas comienzan a sumarse dentro de la agenda pública, cuestión que no es menor. Es desde esta perspectiva que se hace necesario destacar entonces la importancia de la *inclusión* en procesos vinculados a la aparición de estas tecnologías en el aula. Al mismo, tiempo, se hace necesario vincular estas tecnologías con procesos de enseñanza ya existentes, y con las oportunidades que el mercado podrá ofrecer a muchos de estos futuros profesionales. Particularmente, en lo que se refiere a la Ingeniería Industrial, muchos de los elementos aquí descritos pueden constituir herramientas y metodologías desde las cuales abordar problemáticas propias del sector productivo, incluyendo nuevas alternativas a los procesos de innovación tradicionales.

En relación al proyecto MECAA, la posibilidad de participar en el diseño, la modificación y el uso de dispositivos que van más allá de la robótica móvil y que eventualmente pueden realizar tareas específicas dentro del aula supone un paso importante en relación a la motivación de los estudiantes, dado que esta iniciativa invita no sólo a estos sino también a los profesores a aprender “desde bastidores y desde el escenario” simultáneamente. De más está decir que la conformación de una experiencia práctica y tangible en la formación es uno de los principales pilares de este proyecto. La filosofía de código abierto se complementa en este proyecto con la necesidad de llegar a sectores anteriormente excluidos, tanto por barreras económicas como de acceso a la información, pensando en estrategias de construcción de conocimiento en nuestro ámbito local. Los diversos derivados, modificaciones o mejoras que eventualmente irán surgiendo de este proyecto constituyen sin dudas una muestra de los cambios que ocurren en el ámbito educativo hoy en día, ante los cuales debemos tomar un rol protagónico en aras de crear futuros profesionales más creativos, innovadores y con voluntad de construir un futuro inteligente.

#### 5. Referencias.

- [1] Prado, Susana; Lopez, Karla Puerto; Montes, Andrea Pinzón. (2013). "Estrategias de motivación del aprendizaje para los estudiantes de electrotecnia". *Mundo FESC*, vol. 2, no 6, p. 44-49.
- [2] COBO, Juan Cristóbal. Conocimiento, creatividad y software libre: una oportunidad para la educación en la sociedad actual. UOC Papers: revista sobre la sociedad del conocimiento, 2009, no 8, p. 6.
- [3] Pons, Claudia; Zabala, Gonzalo; Arevalo, Gabriela Beatriz. (2012). "Aplicando técnicas de ingeniería de software al desarrollo de sistemas robóticos educativos". *XIV Workshop de Investigadores en Ciencias de la Computación*.
- [4] Sánchez, J. D. (2015). "Open hardware y software, herramientas para el desarrollo de competencias educativas". *Revista Iberoamericana de Producción Académica y Gestión Educativa*.
- [5] Álvarez, J. M. A., Quezada, R. H., Torres, M. T., & de Educación Inicial, E. "Aplicación de las tecnologías en educación tecnológica".
- [6] Rubow, E. (2008). "Open source hardware". *Technical report*.
- [7] Gibb, Alicia (2015). "Building open source hardware: DIY Manufacturing for Hackers and Makers (caps". 6 y 11. Disponible en <http://ptgmedia.pearsoncmg.com/images/9780321906045/samplepages/9780321906045.pdf> [Consultado el 15/07/2015]
- [8] Pearce, J. M. (2012). "Building research equipment with free, open-source hardware". *Science*, 337(6100), 1303-1304. Disponible en <http://www.sciencemag.org/content/337/6100/1303.full> [Consultado el 15/07/2015]
- [9] Bertelli, L., Bovo, F., Grespan, L., Galvan, S., & Fiorini, P. (2007). "Eddy: an open hardware robot for education". In *4th International Symposium on Autonomous Minirobots for Research and Edutainment (AMIRE)*. Buenos Aires. Argentina.
- [10] Mondada, F., Bonani, M., Raemy, X., Pugh, J., Cianci, C., Klaptocz, A., ... & Martinoli, A. (2009). "The e-puck, a robot designed for education in engineering". *Proceedings of the 9th conference on autonomous robot systems and competitions (Vol. 1, No. LIS-CONF-2009-004, pp. 59-65)*. IPCB: Instituto Politécnico de Castelo Branco.

- [11] Raymond, Eric S. (1999). *The Cathedral and the Bazaar: Musings on Linux and Open Source by an Accidental Revolutionary*. O'Reilly Media. [ISBN 1-56592-724-9](#).
- [12] O'reilly, T. (2007). "What is Web 2.0: Design patterns and business models for the next generation of software". *Communications & strategies*, (1), 17.
- [13] Kushner, David. (2011). "The making of arduino". *IEEE Spectrum*, vol. 26.
- [14] Powell, A. (2012). "Democratizing production through open source knowledge: from open software to open hardware". *Media, Culture & Society*, 34(6), 691-708.
- [15] Anderson, C. (2012). "Makers: The New Industrial Revolution". Crown Publishing Group. ISBN: 978-0-307-72097-9
- [16] Funes, D. S. (2014). "Creatividad tecnológica: mantener al alcance de los niños". *Economía Aragonesa*, 95.
- [17] Williams, A., Gibb, A., & Weekly, D. (2012). "Research with a hacker ethos: what DIY means for tangible interaction research". *Interactions*, 19(2), 14-19.
- [18] Díaz, D., Oviedo, S., Otazu, A., Ibañez, F., Sierrol, D., & Alves Piñeiro, M. (2015). "Software y Hardware de Código Abierto para Desarrollo de Habilidades de Innovación". *Tecnológica. Conferencias LACLO*, 5(1).
- [19] Proyecto RepRap. [Online]. Available: <http://reprap.org/>
- [20] Computadora Industrial Abierta Argentina (CIAA). [Online]. Available: <http://www.proyecto-ciaa.com.ar>
- [21] Queiruga, Claudia Alejandra, et al. (2014). "Aplicaciones ludificadas que combinan robots y dispositivos móviles". *XVI Workshop de Investigadores en Ciencias de la Computación*.
- [22] Yu, D., Hu, Y., Xu, X. W., Huang, Y., & Du, S. (2009). "An open CNC system based on component technology". *Automation Science and Engineering, IEEE Transactions on*, 6(2), 302-310. ISO 690
- [23] Asato, O. L., Kato, E. R. R., Inamasu, R. Y., & Porto, A. J. V. (2002). "Analysis of open CNC architecture for machine tools". *Journal of the Brazilian Society of Mechanical Sciences*, 24(3), 208-212.
- [24] Xu, X. W., & Newman, S. T. (2006). "Making CNC machine tools more open, interoperable and intelligent—a review of the technologies". *Computers in Industry*, 57(2), 141-152.
- [25] Han, Z. Y., Wang, Y. Z., & Fu, H. Y. (2007). "Development of a PC-based open architecture software-CNC system". *Chinese Journal of Aeronautics*, 20(3), 272-281.
- [26] Proyecto MECAA [Online] Available: <http://es.mecaa.wikia.com>