

Universidad Tecnológica Nacional

Escuela de Posgrado

Trabajo final de la carrera de licenciatura en tecnología  
educativa.

**Robótica diseñada con software y hardware  
libre como recurso educativo para la  
enseñanza de lenguajes formales.**

---

Valentin Basel.



# Índice general

0.1. Introducción . . . . .	5
<b>1. Marco Teórico</b>	<b>7</b>
1.1. Introducción . . . . .	7
1.2. Construccionismo . . . . .	8
1.2.1. Lenguaje LOGO . . . . .	9
1.3. Ciencias de la computación . . . . .	11
1.4. Lenguajes formales . . . . .	11
1.4.1. python . . . . .	12
1.5. Soberanía tecnológica . . . . .	13
1.6. Software libre . . . . .	14
1.6.1. Código fuente . . . . .	14
1.7. Hardware de especificaciones abiertas . . . . .	18
1.7.1. Software libre en la escuela . . . . .	20
1.8. Robots . . . . .	22
1.9. Robótica educativa . . . . .	23
<b>2. Estado de la cuestión</b>	<b>26</b>
2.1. Introducción . . . . .	26
2.2. Antecedentes . . . . .	27
2.2.1. ARDUINO <sup>TM</sup> y la revolución del hardware libre. . . . .	27

2.3. lenguajes de programación en la enseñanza . . . . .	28
2.3.1. competencias específicas para el aprendizaje de un len- guaje de programación . . . . .	32
2.4. Robótica y la enseñanza de programación . . . . .	33
<b>3. Proyecto educativo tecnológico</b>	<b>35</b>
3.1. Introducción . . . . .	35
<b>Referencias</b>	<b>35</b>

## 0.1. Introducción

Por la creciente importancia que la tecnología digital tiene hoy en día y gracias a su transversalidad en la vida cotidiana, las TIC se han vuelto una parte integral del proceso educativo. El uso de dispositivos electrónicos en el aula es una realidad y por consiguiente, la implementación y el desarrollo de propuestas educativas que permitan la evolución cognitiva de los discentes y un aprovechamiento de las nuevas tecnologías se vuelven de especial interés por sus ventajas como recurso educativo. En consecuencia, y como dice Chavarría (2011), la discusión sobre el uso de software y hardware libre como herramienta educativa, se vuelve trascendental para lograr el desarrollo de conceptos como la soberanía tecnológica dentro del aula.

La robótica utilizada en el contexto educativo tiene múltiples aplicaciones para ser aprovechada como herramienta transversal para el aprendizaje de conceptos de matemática, física y lenguajes de programación. Tomando al construccionismo de Papert (1993) como teoría pedagógica central, podemos decir que la robótica es una herramienta construccionista, la cual permite a los discentes, abordar la construcción de su propio conocimiento en base de diseñar y fabricar un robot de carácter pedagógico.

Su carácter multidisciplinario permite abordar distintas etapas de la construcción del conocimiento por parte de los discentes, además de poder ser aplicada en una gran variedad de temáticas, y su espectacularidad (entendida como la capacidad de generar algún tipo de asombro en la población estudiantil), ayuda a los docentes en la tarea de impartir la curricula planteada en el curso.

Sin embargo, la gran dificultad técnica y la cantidad de conocimientos específicos necesarios para desarrollar un robot (como electrónica, mecánica y ciencias computacionales) , además de un costo generalmente elevado de

los kits que se consiguen en el mercado, hace que la enseñanza de robótica en las escuelas, este relegada generalmente a colegios que pueden financiar los costes de capacitación y adquisición de estos kits comerciales.

El proyecto ICARO busca desarrollar una solución técnica basada en hardware de especificaciones abiertas y software libre para facilitar la labor del docente a la hora de trabajar los contenidos técnicos complejos que implica el abordaje de una disciplina como la robótica, y además abaratar costos, al ser ICARO un proyecto pensado para poder implementarse en pequeña escala, sin equipamiento industrial y con la idea de que los docentes y discentes desarrollen (pensando la producción como el hecho de soldar los componentes electrónicos ) el hardware ICARO, poniendo un fuerte énfasis en la fabricación como una herramienta constructora y de aprehensión, entendiendo esta práctica como una "herramienta de liberación" en el sentido planteado por Paulo Freire (2015).

Por consiguiente, La presente tesis propone un proyecto de transferencia educativo-tecnológico, basado en el diseño y desarrollo de hardware electrónico para el desarrollo de elementos de robótica, domótica o automatización, y software de control para dicho hardware, basado en los principios de soberanía tecnológica y las licencias de software libre (versión GPLv3).

# Capítulo 1

## Marco Teórico

### 1.1. Introducción

Abordar un proyecto de robótica como Recurso Educativo Abierto (REA/OER), implica una serie de desarrollos conceptuales y teóricos que van a mas allá del diseño y desarrollo técnico de hardware y software. El uso de REA/OER (Montoya y Aguilar, 2012) implica un compromiso "político" (entendiendo esto como una postura ideológica con respecto al uso de a tecnología) y la apropiación de términos conceptuales como "software libre" y "soberanía tecnológica". En este capitulo, se tratara de dar cuenta sobre los conceptos técnicos/teóricos para la adopción de un proyecto de robótica educativa basado en software y hardware libre, tomando como base que la adopción de un proyecto de robótica educativa libre, implica adoptar las filosofías inherentes al software y la cultura libre.

## 1.2. Construccionismo

El construccionismo es una teoría del aprendizaje diseñada por Seymour Seymour Papert (1987) donde se resalta la importancia de la acción como parte principal en el proceso de aprendizaje. Toma como inspiración las ideas de la psicología construtivista partiendo del supuesto de que el conocimiento debe ser construido por el propio sujeto, el cual aprende a través de la acción, por lo tanto no es algo que se pueda solamente transmitir.

La teoría del construccionismo afirma que el aprendizaje es mucho mejor cuando los niños se comprometen en la construcción de un producto significativo para ellos, como podría ser un programa de computación, un robot, un juguete o una canción.

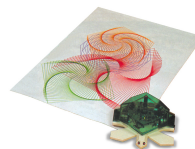


Figura 1.1: robot "tortuga" de la empresa Valiant

De esta forma el construccionismo involucra dos tipos de construcción: cuando los niños construyen cosas en el mundo externo, simultáneamente construyen conocimiento al interior de sus mentes. Este nuevo conocimiento entonces les permite construir cosas mucho más sofisticadas en el mundo externo, lo que genera más conocimiento, y así sucesivamente en un ciclo autoreforzante.

Seymour Papert (1987) da el ejemplo de los "engranajes" que tanto lo fascinaron en su infancia para plantear como pensar en un "objeto con el cual pensar", y como en el hecho de "pensarse como un engranaje" le permitió aprender conceptos formales matemáticos que forman parte del desarrollo de un sistema de engranajes (relación entre dientes y fuerza en un tren de engranajes por ejemplo).



El concepto central dentro del construccionismo radica en plantear actividades de confección y construcción de artefactos (aunque no necesariamente artefactos físicos) los cuales funcionan como facilitadores del aprendizaje porque los sujetos al construir un dispositivo (un robot, un castillo o un programa de computadora), construyen también sus propias estructuras de conocimiento. Papert afirma que los sujetos además, deben construir objetos que sean de su interés personal, para poder interesarse más en el proceso de construcción (y por ende, en su proceso de construcción del conocimiento) al mismo tiempo que los objetos contruidos ofrecen la posibilidad de hacer más concretos, palpables y visibles (dentro del esquema de pensamiento del sujeto) los conceptos abstractos o teóricos, y por tanto, los hace más fácilmente comprensibles.

### 1.2.1. Lenguaje LOGO

En los años 70 Papert y su grupo de investigación desarrollaron el lenguaje LOGO, un lenguaje formal Giró (2015) diseñado para poder trabajar conceptos de matemáticas sobre la idea de interaccionar con una "tortuguita" que dibuja en función de las ordenes (algoritmo) que los alumnos escriben en la computadora.

El lenguaje LOGO está diseñado para ser sencillo de aprender, con instrucciones ("primitivas" en el argot LOGO) que son intuitivas para el usuario (la palabra 'adelante', hace que la tortuga avance N pasos, al igual que "atrás" hace que retroceda) y sin embargo sigue siendo un lenguaje de programación completo y capaz de hacer lo mismo que otros lenguajes de propósito general (como C, FORTRAN u otros lenguajes de la época).

Una de las ventajas de LOGO es su facilidad de poder hacer "algo" con muy pocas líneas de código (típicamente algún dibujo con la "tortuguita"),

Seymour Papert (1987) plantea que cualquier niño, bajo las condiciones adecuadas, puede aprender un lenguaje de programación como LOGO.

Originalmente, las primeras pruebas de LOGO se hicieron con robots como el de la figura 1.2, el cual estaba pensado para ser robusto, y capaz de soportar hasta el peso de un niño encima. Las computadoras de la época no tenían capacidad de procesar gráficos de alta definición (y las impresoras eran caras y de uso casi exclusivo en las empresas), por lo tanto la ventaja de un robot eran muy interesantes.



Figura 1.2: robot 'tortuga' original diseñado por el M.I.T

Con el advenimiento de las micro computadoras (como las ZX spectrum<sup>TM</sup> y las commodores<sup>TM</sup> C64), que contaban con la capacidad de trabajar en monitores a color (o en los televisores CRT de la época) y gracias a su bajo costo de adquisición, se dejó de utilizar los robots tortuga, para directamente trabajar con el lenguaje de programación LOGO y una "tortuga virtual", menos llamativa pero mucho mas barato de adquirir para los colegios.



Figura 1.3: Version 'mini' del robot tortuga controlado por un micro computador Apple

## 1.3. Ciencias de la computación

Tomando como referencia a la propuesta de la fundación Sadosky (Sadosky, 2013) podemos hacer una diferencia entre las tecnologías de la información y comunicación (TIC) y las ciencias de la computación (CC), donde las primeras (TICs) se refieren a nivel global sobre el uso de herramientas basadas en computadoras (ofimáticas, navegación por internet, etc etc.), mientras que las ciencias de la computación están más orientadas específicamente a la generación de habilidades y competencias específicas

## 1.4. Lenguajes formales

Podemos definir a un lenguaje formal como un lenguaje cuyos símbolos (alfabeto) y reglas para unir esos símbolos (gramática) están formalmente definidos (Giró, 2015). Por consiguiente se podría decir que su particularidad es la de un lenguaje cuyos significados son "vacíos", dicho en otros términos: en los lenguajes formales los signos pueden ser manipulados sin interpretación, se trata de un "usar sin necesidad de entender" para potenciar y mejorar los razonamientos en la medida que se evitan los sesgos cognitivos asociados al uso del lenguaje natural.

Un lenguaje de programación es un lenguaje formal, como la lógica y la matemática, con la diferencia que fue diseñado para realizar procesos que pueden ser llevados a cabo por computadoras (máquinas de Turing). Entre sus características principales, se encuentra la posibilidad de poder crear programas que gobiernen el comportamiento de una computadora, tanto a nivel físico (hardware) como lógico (software), por lo que son de suma importancia para generar algoritmos que permitan el control de una computadora.

En la primera época de las computadoras (las grandes mainframes como

la ENIAC) estas eran programadas directamente escribiendo "ceros y unos" sobre su memoria, utilizando directamente lo que se define como **lenguaje de maquina**, o usando una serie de reglas mnemotécnicas que se dio a llamar como **lenguaje ensamblador**. La gran dificultad de programar software cada vez más complejo hizo que se desarrollaran lenguajes de programación cada vez más alejados del lenguaje de maquina y más cerca del lenguaje natural, se dice comúnmente que un lenguaje de bajo nivel es aquel que se asemeja más a la forma de trabajar de una computadora (assembler por ejemplo), y que un lenguaje de alto nivel, trata de ser más parecido al lenguaje que usamos los seres humanos (python por ejemplo) y por lo tanto es más fácil de entender para los programadores y para impartir cursos de iniciación a la programación (de Sevilla Vellón y Díaz, 2016).

### 1.4.1. python

Python es un lenguaje de programación interpretado, de alto nivel y multi paradigma, cuya filosofía hace hincapié en una sintaxis que favorezca un código fácil de leer para los programadores. Por lo tanto y como dice Marzal y cols. (2003), python es un lenguaje ideal para la enseñanza



Figura 1.4: Logotipo de PYTHON

de programación porque tiene una *sintaxis* que facilita la economía de símbolos auxiliares (como el símbolo ";" usado para indicar el final de línea en lenguaje C), es *expresivo* (entendiendo esto como su capacidad para decir mucho con pocas líneas de código), y su *semántica* es elegante, haciendo que sea fácil de entender y escribir.

Podríamos decir que entre sus características (Marzal y Luengo, 2004, pág 15) están:

- Python es un lenguaje muy expresivo, es decir, los programas Python son muy compactos.
- Python es muy legible. La sintaxis de Python es muy elegante y de fácil lectura.
- Python ofrece un entorno interactivo que facilita la realización de pruebas.
- Python puede usarse como lenguaje imperativo procedimental o como lenguaje orientado a objetos.
- Posee un rico juego de estructuras de datos que se pueden manipular de modo sencillo.

## 1.5. Soberanía tecnológica

El concepto de soberanía tecnológica plantea una alternativa al proceso calificado por James Boyle (2003) como el segundo cercamiento de los bienes comunes. Si la acumulación inicial del capital se produjo mediante el cerco (enclosure) de las tierras comunales, este segundo cerco a los bienes comunes pretende la apropiación privada, mediante el sistema de marcas registradas, patentes y las leyes de propiedad intelectual, de objetos e ideas que hasta ahora quedaban excluidos por considerarse bienes comunes inapropiables. En este contexto El uso de software libre sirve como empoderamiento para lograr, como dice Paulo Freire (2006), una pedagogía de la autonomía , y no solo una base de usuarios cautivos para las empresas desarrolladoras de software.

## 1.6. Software libre

El software libre es un movimiento que comenzó en el año 1983 cuando Richard Stallman (2007) anuncio el proyecto GNU, como contra posición a la aparición de monopolios artificiales en el desarrollo de software (Beatriz Busaniche, 2010). Se podría decir que la meta del movimiento fue dar libertad a los usuarios de programas de computadoras remplazando el software con términos de licencias restrictivas (software privativo), por una alternativa libre.

La comunidad de desarrolladores de software libre plantea que el software (para ser considerado libre) debe poder ser copiado, estudiado, distribuido y modificado libremente por cualquier persona o comunidad. En ese sentido, se vuelve de vital importancia poder contar con el código fuente (y no solo el código maquina o binario) de los programas para poder estudiarlos y modificarlos, ademas de tener una licencia (la licencia GNU/GPL) que proteja el derecho de autor y permita que ese código fuente pueda ser distribuido sin el peligro de que sea apropiado por alguien mas.

Por lo tanto para poder entender el concepto del software libre y la mirada política que hay detrás del movimiento, lo principal es poder entender los conceptos técnicos que implican el desarrollo de software y la diferencia entre el código binario (archivo ejecutable) y el código fuente (escrito en un lenguaje de programación).

### 1.6.1. Código fuente

El software que diariamente usamos en nuestras computadoras esta compuesto por archivos binarios, largas listas de ceros y unos (código binario) con los cuales la computadora lee y ejecuta las instrucciones que estos ar-

chivos les brindan. Originalmente, en el desarrollo de software, los ingenieros escribían directamente sobre la memoria de las computadoras de la época, grandes mainsframes que ocupaban habitaciones completas, pero con el crecimiento de la potencia de las computadoras, y la consiguiente complejidad en el desarrollo de los programas que se necesitaban usar para controlar estas nuevas maquinas, se comenzó a ver la necesidad de contar con una forma mas eficiente y sencilla de poder crear programas para que una computadora. De esa época nace la idea un programa compilador que convirtiera la información escrita en un lenguaje formal (con cierto grado de aproximación a un lenguaje natural humano) y que pasara toda esa información a un lenguaje de maquina (código binario).

Un compilador es en su definición mas genérica un programa que toma como entrada un texto de un programa escrito en cierto lenguaje y produce como salida el texto de un programa en otro lenguaje (Grune y Catalina Gallejo, 2007), manteniendo el archivo original (código fuente) y el archivo de salida (código objeto, generalmente un archivo binario ejecutable por la computadora), es decir que un compilador convierte (o traduce como termino mas general) un archivo de código fuente a un archivo de código binario, permitiendo escribir en un lenguaje mas parecido al lenguaje natural (y mas sencillo de entender para los humanos).

Por consiguiente podemos considerar a un lenguaje de programación como un lenguaje formal, donde una serie de instrucciones inequívocas conforman un algoritmo (Giró, 2015) que puede ser convertido por un compilador en un archivo de instrucciones binarias para ser ejecutado por una computadora.

Richard Stallman (2007) hace la analogía entre el código fuente y una receta de cocina, donde uno siguiendo instrucciones sencillas y no ambiguas (los pasos para hacer una torta por ejemplo) puede llegar a obtener un producto

Lenguaje de programación	Código fuente
ANSI C	<pre>#include &lt;stdio.h&gt; int main(int argc, char* argv[]) {     puts("Hola_mundo!"); }</pre>
Python	<pre>print "hello_world" exit()</pre>
binario ("hello world" en ASCII)	<pre>01001000011001010110110001 10110001101111001000000101 01110110111101110010011011 0001100100</pre>

Cuadro 1.1: Lenguajes de programación, comparación entre código fuente y código máquina

final (la torta en este caso). De esa forma y en este esquema, la receta de cocina sería igual al código fuente y el producto final (la torta) sería igual al código binario (o ejecutable). Naturalmente si nosotros solo tenemos la torta, descubrir como obtener de vuelta la receta (ingeniería inversa) es mucho mas difícil que en el sentido inverso (receta-torta).

Haciendo un ejemplo mas concreto podemos ver las diferencias entre el software y el código fuente podemos ver la tabla1 propuesta por Hart (2003).

Como plantean Jordi Adell y Bernabé (2007), la facilidad de cambiar un programa escrito en python, por ejemplo, para que en ves de decir Hello World diga Hola Mundo sería bastante trivial y fácil de hacer, sin embargo para hacerlo desde código binario se vuelve muy complejo, y eso que solamente son los caracteres de la palabra Hello World no un programa completo el cual hasta el mas sencillo puede contener miles y hasta millones de ceros y unos.

Por tanto para un programador es necesario poder contar con el código



fuelle de un software para poder modificarlo, estudiarlo y comprender su funcionamiento (y que no sea solamente una caja negra).

Teniendo en cuenta estos conceptos, podemos explicar algunas de las definiciones que se utilizan sobre un software para poder ser considerado como software libre. Richard Stallman (2007) define 4 libertades que tiene que tener dicho software para poder ser considerado como software libre:

- libertad 0: La libertad de usar el programa, con cualquier propósito (Uso)
- libertad 1: La libertad de estudiar cómo funciona el programa y modificarlo, adaptándolo a las propias necesidades (Estudio).
- libertad 2: La libertad de distribuir copias del programa, con lo cual se puede ayudar a otros usuarios (Distribución).
- libertad 3: La libertad de mejorar el programa y hacer públicas esas mejoras a los demás, de modo que toda la comunidad se beneficie (Mejora).

Un programa es software libre si otorga a los usuarios todas estas libertades de manera adecuada. Por lo tanto el echo de contar con el código fuente es una condición necesaria para poder aplicar las 4 libertades que plantea la FSF (Free Software Foundation), lo dicho hasta aquí supone que todos los programas desarrollados y distribuidos bajo licencias libres (por ej. -la licencia GNU/GPL V3) tienen que se distribuidos con los archivos de código fuente ademas de de los archivos ejecutables (en el caso de programas compilados).

El software libre busca proteger las libertades individuales de los usuarios de computadoras como oposición a los desarrollos de software privativos

(como los define la FSF), licencias restrictivas de uso, software malicioso (malwares, backtrack, etc.) monopolios (Beatriz Busaniche, 2010), y practicas poco éticas que algunas empresas pueden aplicar a sus usuarios de software. En cambio, gracias al software libre, los usuarios no están restringidos por el desarrollador de la aplicación y son dueños completos de el programa que necesitan usar, permitiendo a comunidades, organismos estatales y/o universidades, adaptar dicho software a las necesidades concretas de cada grupo, y así poder dar respuesta a necesidades puntuales que podrían no ser "rentables" para una empresa particular.

Se podría decir que el software libre es un desarrollo soportado por las comunidades y para las comunidades, donde el esquema de desarrollo es distribuido y global, o como dice (Raymond, 1998) un esquema donde el desarrollo de software libre

es mas parecido a un "bazar" donde todos aportan de manera "desorganizada" y des centralizada, en contra posición a un desarrollo mas parecido a una "catedral", donde un arquitecto es el jefe central del desarrollo, en un esquema fuertemente estructurado.



Figura 1.5: Logotipo del Free Software Foundation

## 1.7. Hardware de especificaciones abiertas

Por otro lado, el movimiento de hardware libre (o hardware de especificaciones abiertas) , busca llevar el concepto del software libre

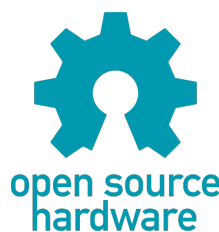


Figura 1.6: Logotipo del Open Source Hardware

(la libertad de usar, estudiar, distribuir o mejorar el software) al diseño de componentes físicos, especificando una licencia que permite distribuir planos y código fuente de desarrollos de PCBs y hardware electrónico. Asimismo, se considera que un diseño de circuito (esquemático, diseño de PCB y archivos GERBER) debe ser desarrollado con software libre y usando formatos abiertos.

Tomando la declaración de principios de la **Open Source Hardware association**<sup>1</sup>, podemos decir que:

*Hardware de Fuentes Abiertas (OSHW en inglés) es aquel hardware cuyo diseño se hace disponible públicamente para que cualquier persona lo pueda estudiar, modificar, distribuir, materializar y vender, tanto el original como otros objetos basados en ese diseño. Las fuentes del hardware (entendidas como los ficheros fuente) habrán de estar disponibles en un formato apropiado para poder realizar modificaciones sobre ellas.*

Idealmente, el hardware de fuentes abiertas debería ser diseñado para poder utilizar componentes, materiales y herramientas de alta disponibilidad y fácil acceso (en lo posible), utilizando herramientas de fuentes abiertas (en el caso del software de desarrollo), permitiendo de esa forma maximizar la posibilidad de construir y usar ese hardware por parte de los usuarios.

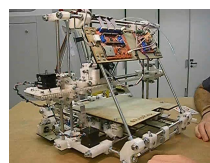


Figura 1.7: Impresora 3d diseñada con hardware libre

---

<sup>1</sup><http://www.oshwa.org/definition/spanish/>

Es importante notar como la OSHW plantea que un hardware para ser considerado de estándares abiertos, no solo deben ser distribuido sus planos y esquemáticos con un formato libre, si no que ademas poder permitir a sus usuarios la posibilidad concreta de fabricar ese mismo hardware. El hardware de fuentes abiertas da libertad de controlar la tecnología y al mismo tiempo permite compartir conocimientos.

González y cols. (2003) plantean una clasificación del hardware en función de su diseño y el software empleado para su creación, definiendo una clasificación primaria de los 3 tipos de archivos necesarios para la fabricación de un PCB (Printed Circuit Board por sus siglas en ingles), el *esquemático*, el archivo de *pcb* y el archivo *GERBER*. En función de esa clasificación, se puede separar al hardware en tres tipos de clasificación:

- (P): Software de diseño propietario.
- (L): Software de diseño libre.
- (M): Software de diseño propietario pero multi plataforma (funciona en sistemas operativos libres y tambien en propietarios)

Por tanto los tres archivos de construcción para el circuito electrónico, pueden ser de clasificación como enteramente libres (tipo **LLL**) o completamente propietarios (**PPP**), y todas sus combinaciones posibles.

### 1.7.1. Software libre en la escuela

Adell y Bernabé (2007) consideran al Software libre una alternativa para aplicar en el contexto del aula por sus ventajas pragmáticas (menor o hasta incluso nulo costo por licencias) que permiten ahorrar presupuesto, y por sus

valores ético, políticos y sociales (Hart, 2003), que funcionan como disparadores de discusiones sobre los valores que una institución educativa tendría que promover. El software libre en la educación trata sobre la libertad de los docentes y dicentes, porque Como dice Paulo Freire (2015): *"Nadie libera a nadie, ni nadie se libera solo. Los hombres se liberan en comunión"*.

La incorporación del software libre en el desarrollo curricular del aula, promueve la cooperación entre las personas donde el software privativo la convierte en un delito (Adell y Bernabé, 2007), el software libre permite a las instituciones escolares sumar sus esfuerzos académicos a un proyecto global, independiente de los vaivenes económicos de las grandes corporaciones, y adaptable a las necesidades concretas de la comunidad donde ese establecimiento esta asentado y que puede no ser rentable para una compañía adaptar su software para esas realidades concretas.

Usando software libre, los alumnos pueden disponer de copias gratuitas de los programas que necesiten para el trabajo escolar, sin restricciones de licencias que obligan a tener un software de menor calidad para "obligar" a los usuarios a comprar las versiones "completas". Al disponer del código fuente, se puede adaptar a las necesidades del docente para situaciones concretas, como traducir dicho software a el idioma de sus alumnos (como el caso de la traducción de la suite ofimática Libreoffice al idioma aimara<sup>2</sup>).

Los proyectos de software libre suelen tener un coste inicial de desarrollo muy bajo (Adell y Bernabé, 2007), generalmente empiezan como un desarrollo personal de algún programador o pequeño grupo de entusiastas, y gracias al trabajo global y distribuido logra crecer y obtener una "masa critica" de desarrolladores que lo hacen crecer, o como menciona Boyle (2003)

*en una red global hay tanta gente y los costos son tan bajos que incluso los*

---

<sup>2</sup><http://www.elmundo.es/navegante/2007/08/03/tecnologia/1186167876.html>

*proyectos relativamente complejos atraen a las personas motivadas y capaces cuyo precio base ya ha sido superado*

de esa forma proyectos muy complejos pueden ver la luz, y ese mecanismo puede ser aprovechado por los colegios para ser generadores de contenido que pueda ser aprovechados por otras instituciones.

## 1.8. Robots

A nivel histórico, la palabra robots viene definida por la obra R.U.R. (Robots Universales Rossum) del dramaturgo checo Karel apek, donde se uso por primera vez la expresión robotnik para referirse a seres humanos sintéticos creados para ser esclavos de la humanidad (Zabala, 2007). Sin embargo la popularidad del termino robot se da por el escritor y divulgador científico Isaac Asimov, que uso el termino robótica para referirse a la disciplina que estudia a sistemas autónomos con cierto grado de capacidad para tomar decisiones e interaccionar con su medio (físico o virtual).

Se podría decir que cualquier sistema que posea sensores, actuadores y algún tipo de dispositivo que le permita realizar algoritmos de procesamiento, es un robot. Una definición tan laxa haría que prácticamente cualquier dispositivo pueda ser considerado un robot. Podemos decir entonces, que hay múltiples definiciones de la palabra robot, en función de las necesidades especi-

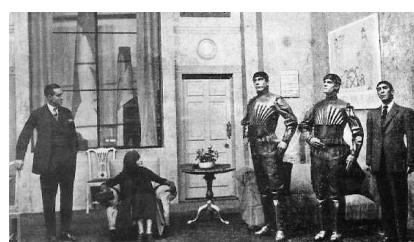


Figura 1.8: una escena de la obra de Karel apek's R.U.R. (Rossum's Universal Robots), en donde podemos ver a los "robots".

ficas de cada país u organización, por ejemplo si tomamos la definición empleada por la R.I.A <sup>3</sup>, un robot (sobre todo pensando en el robot industrial) es<sup>4</sup> :

*A robot is a reprogrammable, multifunctional manipulator designed to move material, parts, tools or specialized devices through variable programmed motions for the performance of a variety of tasks.*

lo que se podría traducir como: "un robot es un manipulador multifuncional y reprogramable diseñado para desplazar materiales, componentes, herramientas o dispositivos especializados por medio de movimientos programados variables con el fin de realizar tareas diversas".

Por otro lado, la J.A.R.A<sup>5</sup> (Japan Robot Association, ex J.I.R.A) usa una definición menos orientada a los manipuladores industriales (como los brazos robots que se usan en la industria automotriz) Reyes Cortés (2011):

*Los robots son dispositivos capaces de moverse de modo flexible análogo al que poseen los organismos vivos, con o sin funciones intelectuales, permitiendo operaciones en respuesta a las órdenes humanas*

Como podemos ver hay múltiples definiciones de la robótica, algunas mas orientadas a la industria, y otras mas generales, donde un robot puede ser desde una androide (robot con forma humanoide) hasta un electrodoméstico.

## 1.9. Robótica educativa

Seymour Papert (1987) Desarrollo la teoría pedagógica del *Construccionismo* la cual promueve la utilización de computadoras como recurso para

---

<sup>3</sup><https://www.robotics.org/>

<sup>4</sup><https://definitions.uslegal.com/r/robotics/>

<sup>5</sup><http://www.jara.jp/e/index.html>

apoyar el desarrollo de nuevas maneras de pensar y aprender. Papert plantea que La única habilidad competitiva a largo plazo es la habilidad para aprender, por lo tanto su enfoque metodológico esta orientado a usar las computadoras como herramientas para posibilitar ese desarrollo cognitivo en los alumnos. Sanchez y Guzman (2012) dicen que el construccionismo es reconocido como una teoría educativa que fundamenta el uso de la tecnología digital en educación.

En cuanto al uso de robótica como recurso educativo, Sanchez y Guzman (2012) dicen que por su carácter multidisciplinario, la robótica es una herramienta interesante para el uso como recurso facilitador del aprendizaje y el desarrollo de competencias generales, dado que Permite trabajar transversalmente múltiples disciplinas, y sirve como motivador para que los discentes lleven a cabo proyectos donde puedan experimentar y desarrollar sus actitudes cognitivas, como dice Pittí y cols. (2010), la robótica es una herramienta construccionista.

Por otro lado uno de los mayores problemas de la implementación de la robótica en el aula, es la gran carga de contenido técnico que debe afrontar el docente para poder trabajar con su curricula, en ese sentido varios fabricantes diseñaron Kits para el uso de robótica con fines educativos, sin embargo estos kits de robótica, generalmente, son extremadamente caros y por lo tanto restrictivos para su utilización masiva por parte de los docentes. El coste operativo de implementar un kit de robótica comercial puede ser prohibitivo para colegios de pocos ingresos, pero también el costo de mantenimiento (reparación y remplazo de piezas defectuosas, actualizaciones etc.) termina siendo un factor clave a la hora de usar los robots como herramientas pedagógicas, a causa del "peligro" de que los alumnos rompan los robots y reponerlos salga tan caro como comprar un kit nuevo.



Por lo tanto, la Robótica educativa con software y hardware libre es una opción mas que viable para la aplicación en el proceso de aprendizaje, porque permite a las escuelas adaptar la tecnología a las necesidades específicas de la institución, permitiendo reutilizar componentes que se encuentren en el colegio (aportados por la comunidad escolar), reciclando y así ahorrar costos, a su vez por la gran expectativa que genera en los alumnos (y docentes), y al ser de código fuente libre, permite romper barreras culturales y políticas que pueden ir en detrimento de la calidad educativa, barreras como el alto costo de adquisición de los elementos, licencias privativas para el software de control o la falta de documentación específica para comunidades minoritarias (traducciones a idiomas que no son viables comercialmente por ejemplo). La robótica educativa con software y hardware libre permite aprovechar las ventajas que ofrecen la filosofía de desarrollo que existe en las comunidades de software libre, donde "mil ojos ven mas que uno" Raymond (1998), permitiendo involucrar a la comunidad escolar en su conjunto y donde las soluciones aportadas por el grupo podrán ser utilizadas en otros colegios y vice versa, generando una situaciones donde todos los involucrados salen favorecidos.

# Capítulo 2

## Estado de la cuestión

### 2.1. Introducción

En este capítulo, se trata de dar cuenta sobre la importancia de la enseñanza de las ciencias de computación en la escuela media y como la robótica puede servir de herramienta para lograr ese cometido, aprovechando sus particularidades y ventajas a la hora de abordar conceptos propios del pensamiento algorítmico (repeticiones, recursividad, saltos condicionales, etc.) y tomando como referencia a la actual ley nacional de educación Numero 26.206 que dice:

*Desarrollar las capacidades necesarias para la comprensión y utilización inteligente y crítica de los nuevos lenguajes producidos en el campo de las tecnologías de la información y la comunicación.*<sup>1</sup>

Podemos decir que las ciencias de la computación (Sadosky, 2013, pág 4) se volverán de vital importancia a la hora de pensar un esquema curricular específico para abordar los contenidos básicos propuestos por la ley 26.206.

---

<sup>1</sup>art 30 inciso F de la Ley Nro. 26.206 de educación

## 2.2. Antecedentes

El uso de dispositivos robots para enseñanza, tiene su origen en el trabajo de Seymour Papert, y su desarrollo del lenguaje LOGO. Este lenguaje accionaba un robot con forma de tortuga (de ahí que el logotipo de LOGO sea una tortuga), el cual se movía sobre una superficie plana dibujando en función de las instrucciones previamente creadas en la computadora que los discentes usaban. Basado en ese esquema, los discentes programan en lenguaje LOGO (un lenguaje muy parecido en su forma al lenguaje LISP), luego activan el robot tortuga y la computadora envía las ordenes para que este se mueva, dibujando sobre un papel.

A través de esa experiencia, Papert colabora con la empresa LEGO para fabricar el producto LEGO/LOGO, el cual después pasaría a ser conocido como LEGO MINDSTORM<sup>TM</sup>, una plataforma física basada en fichas LEGO<sup>®</sup> que también incluye hardware de adquisición de datos capas de leer sensores y trabajar sobre diversos actuadores, y permite interconectar todo para lograr diversos robots.

Con el tiempo lenguaje LOGO abandonaría la tortuga robot principalmente por razones presupuestarias, el abaratamiento de las micro computadoras (por ej. COMMODORE<sup>®</sup> c64) con capacidad de procesar gráficos a color y el elevado costo de cada robot tortuga, hicieron que fuera muy difícil implementar una curricula basada en LOGO solamente con el uso del robot tortuga.

### 2.2.1. ARDUINO<sup>TM</sup> y la revolución del hardware libre.

El primer modelo de la placa Arduino<sup>TM</sup> fue introducido en 2005, ofreciendo un bajo costo y facilidad de uso para novatos y profesionales. Buscaba

desarrollar proyectos interactivos con su entorno mediante el uso de actuadores y sensores. Su bajo costo y la enorme cantidad de documentación generada por las distintas comunidades de desarrolladores y entusiastas permitió que la plataforma Arduino<sup>TM</sup> se volviera un estándar a la hora de hablar sobre automatización o IOT (Internet of things).

Actualmente los miles de kits para enseñanza de robótica que se diseñan y fabrican (a pequeña o gran escala) están basados en la arquitectura Arduino<sup>TM</sup> y la serie de micro controladores AVR<sup>®</sup> de 8 bits, aprovechando la inmensa documentación y facilidad de adquisición de los componentes, permitiendo también un abaratamiento de costos a causa de la gran demanda que viene suscitándose en los últimos años. Estos kits generalmente constan de una serie uniforme de componentes electrónicos y mecánicos, como servo motores, motores de corriente continua, sensores analógicos / digitales y componentes de electrónica discreta (resistencias, leds, capacitores, etc.), posibilitando trabajar una serie de sistemas de automatización, robótica y/o domotica de mayor o menor complejidad.

### 2.3. lenguajes de programación en la enseñanza

En la actualidad y en el marco de la ley nacional de educación 26.206, la enseñanza de la ciencia computacional esta tomando relevancia a nivel curricular, la falta de profesionales especializados en programación y la constante demanda

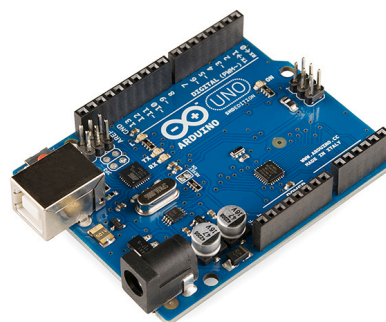


Figura 2.1: Arduino<sup>TM</sup> Uno Rev. 3

de "mano de obra" por parte de la industria del software (software factory) se ha vuelto un factor de preocupación por parte de las autoridades nacionales y distintos planes se están implementando para tratar de paliar esa problemática. Dentro de esos proyectos podemos encontrar el Proyecto **Escuelas del Futuro**, en la órbita de la Secretaría de Innovación y Calidad Educativa del Ministerio de Educación y Deportes, el cual busca:

*crear un Proyecto con el objeto de generar un cambio transformador en las estrategias pedagógicas y políticas de contenidos para integración del sistema educativo a la cultura digital. Que para el logro de los objetivos previstos en los considerandos precedentes, resulta conveniente la creación del Proyecto "Escuelas del Futuro" orientado a propiciar alfabetización digital de todos/as los/as estudiantes de la Argentina, a través de integración de áreas de conocimiento emergentes, como la programación y la robótica.*<sup>2</sup>

Desde esa perspectiva, y como dice la fundación sadosky, la alfabetización digital parte de la enseñanza de las ciencias de la computación pensadas como un conjunto amplio de fundamentos y principios independiente de tecnologías (Sadosky, 2013, pág 12) que incluyen:

1. Programación y algoritmos
2. Estructuras de datos
3. Arquitecturas y redes de computadoras

---

<sup>2</sup>Resolución Ministerial 2.376/16 Ministerio de Educación y Deportes, consultado en <http://www.saij.gob.ar/proyecto-escuelas-futuro-nv15957-2016-12-05/123456789-0abc-759-51ti-lpssedadevon?>

Por otro lado las ciencias de la computación permite fomentar habilidades que pueden ser aplicadas a muchos campos de estudio como:

1. Modelización y formalización.
2. Descomposición en sub problemas.
3. Generalización y abstracción de casos particulares.
4. Proceso de diseño, implementación y prueba.

De esta forma la enseñanza de un lenguaje formal toma una particular importancia dentro de el esquema educativo actual, que busca resolver los problemas planteados por la necesidad de alfabetizar digitalmente a la población.

Sin embargo, hay criticas concretas a la enseñanza del "pensamiento algoritmico" en contra de una enseñanza de lenguajes formales específicos. La idea de pensamiento algoritmico es que se puede aprender conceptos de programación a través de metas lenguajes, o lenguajes pedagogicos (pseudo código o sistemas basados en diagramas y gráficos). Desde esa perspectiva, un lenguaje educativo permitiría simplificar el contenido técnico complejo, permitiendo abordar de forma escalonada el aprendizaje de la ciencia computacional.

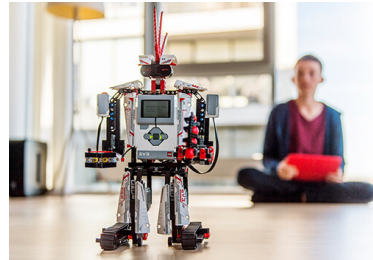


Figura 2.2: Robot LEGO® MINDSTORM®

Por otro lado, como critica a ese modelo, Dijkstra y Montoya (2010) plantean que la "simplificación" de un lenguaje formal con pseudo código o

con lenguajes "de juguete" (como el caso del lenguaje BASIC en su momento) pueden ser mas contraproducentes que beneficioso. en dichos del propio dijkstra:

*It is practically impossible to teach good programming to students that have had a prior exposure to BASIC: as potential programmers they are mentally mutilated beyond hope of regeneration.*

lo que se puede traducir como:

*Es prácticamente imposible enseñar una buena programación a los estudiantes que han tenido una exposición previa a BASIC: como programadores potenciales son mentalmente mutilados más allá de la esperanza de regeneración.*

seymour Seymour Papert (1987) plantea que los lenguajes simplificados como BASIC (o como los lenguajes basados en bloques gráficos de mas reciente aparición) que se "promocionan" como lenguajes simples de aprender a causa de su reducido vocabulario, son sin embargo extremadamente complejos den usar para crear programas que sean algo mas que "código trivial", fenomeno al que seymour Seymour Papert (1987) se refiere como el "fenómeno QWERTY", a causa de los teclados tipo QWERTY, que fueron diseñados en la época de las primeras maquinas de escribir mecánicas (que solían trabarse si se ponían cerca las teclas de uso mas común), y sin embargo aun después de la creación de las computadoras (cuando los problemas mecánicos de las maquinas de escribir ya no tenían significado) se siguió usando ese mismo sistema mas que nada por costumbre.

### **2.3.1. competencias específicas para el aprendizaje de un lenguaje de programación**

Cuando hablamos de un lenguaje de programación (entendiendo este como un lenguaje formal de tipo específico) para poder usarlo como herramienta de enseñanza, se necesitan tener en cuenta una serie de capacidades o características necesarias para poder ser considerado en una curricula educativa, en general podemos decir que un lenguaje de programación, debería tener las siguientes cualidades:

1. Ser de alto nivel (similar a un lenguaje natural).
2. Ser un lenguaje de propósito general (la capacidad de crear cualquier programa).
3. Tener capacidad multi paradigma (programación orientada a objetos, programación estructurada, etc.).
4. Ser multi plataforma (capacidad de adaptarse a distintos dispositivos).

También, es importante que un lenguaje de programación seleccionado para trabajar en el aula sea de uso común y extendido en la industria, no tanto por su éxito comercial momentáneo que puede variar en muy poco tiempo, si no por la capacidad de conseguir documentación específica y comunidades de soporte que permitan desarrollar al máximo las capacidades intrínsecas de la herramienta.

Hay que hacer una aclaración con los lenguajes de marcado (Como HTML) que no son lenguajes de programación propiamente dicho, dado que no tienen características básicas como:

- variables



- repeticiones
- sentencias condicionales
- recursividad

Si bien esta enumeración de características no es exhaustiva, si pone en manifiesto, que habiendo una enorme cantidad de lenguajes de programación, algunos de características mas especificas que otros, la elección del lenguaje de programación que se usara para un curso de enseñanza inicial no es un asunto trivial.

## 2.4. Robótica y la enseñanza de programación

En la actualidad, el uso de robótica se esta extendiendo dentro de los espacios curriculares, los robots educativos se presentan como una alternativa interesante para poder trabajar conocimientos transversales a distintas disciplinas, desde la matemática y programación hasta las ciencias naturales. Sin embargo se podría decir que en donde mas se pueden aprovechar las ventajas de los kits de robótica que pululan en el mercado es precisamente en la enseñanza de los lenguajes de programación.

Básicamente un robots es una computadora con sensores y actuadores que le permiten interactuar en un entorno físico, pero para lograr ese cometido el robot debe ser programado con un algoritmo que le permita resolver las situaciones complejas que pueden ocurrir mientras se mueve por un medio ambiente físico. A diferencia de lo que pasa en un entorno virtual como un simulador robotico, interactuar en un espació físico obliga al diseñador del algoritmo a tomar medidas de corrección y control mediante sensores y dotar

al robot de cierta "inteligencia" para resolver situaciones inesperadas como fallas mecánicas o defectos de fabricación como cuando se usan componentes reciclados o de baja calidad.

Por otro lado es importante hacer una distinción entre "aprendizaje DE robótica " y "aprendizaje CON robótica" (Malec, 2001), entendiendo que la robótica es una disciplina en si misma, y su uso en la industria tiene un nivel de complejidad que requiere un grado de especialización extra para los técnicos e ingenieros que trabajen en ese ámbito. Por lo tanto el aprendizaje con robots, debería ser pensado como un medio para facilitar la construcción por parte de los discentes de conocimientos transversales, se puede decir entonces que la propuesta de aprendizaje de la robótica debe definir elementos básicos necesarios para desarrollar en los estudiantes competencias tales como: la toma de decisiones basadas en el conocimiento, el formular explicaciones científicas y el trabajo en equipo (López Ramírez y Andrade Sosa, 2013).

## Capítulo 3

# Proyecto educativo tecnológico

### 3.1. Introducción

## Referencias

- Adell, J., y Bernabé, Y. (2007). Software libre en educación. *Tecnología educativa. Madrid: McGraw-Hill*, 173–195.
- Beatriz Busaniche. (2010). *Argentina copyleft. La crisis del modelo de derecho de autor y las prácticas para democratizar la cultura*.
- Boyle, J. (2003). The second enclosure movement and the construction of the public domain. *Law and contemporary problems*, 66(1/2), 33–74. Descargado 2016-08-27, de <http://www.jstor.org/stable/20059171>
- Chavarría, J. V. (2011, marzo). Software libre, alternativa tecnológica para la educación. *Revista Actualidades Investigativas en Educación*, 5(2). Descargado 2016-08-26, de <http://revista.inie.ucr.ac.cr/index.php/aie/article/view/86> doi: 10.15517/aie.v5i2.9150
- de Sevilla Vellón, M. A. F., y Díaz, M. J. A. (2016). Introducción práctica a la programación con python.
- Dijkstra, E. W., y Montoya, É. S. (2010). Por qué johnny no puede comprender. *Lámpsakos*(3), 76–77.
- Freire, P. (2006). *Pedagogía de la autonomía: saberes necesarios para la práctica educativa*. Siglo XXI. (Google-Books-ID: OYK4bZG6hxkC)

- Freire, P. (2015). *Pedagogía del oprimido*. Buenos Aires: Siglo veintiuno. (OCLC: 946344968)
- Giró, J. (2015). *Lenguaje formales y teoría de autómatas*. Buenos Aires: Alfaomega. (OCLC: 953193943)
- González, I., González, J., y Gómez-Arribas, F. (2003). Hardware libre: clasificación y desarrollo de hardware reconfigurable en entornos GNU/Linux. En *VI Congreso de Hispalinux, Universidad Rey Juan Carlos I*.
- Grune, D., y Catalina Gallego, A. (2007). *Diseño de compiladores modernos*. Madrid: McGraw-Hill. (OCLC: 182734548)
- Hart, T. D. (2003). *Open source in education*. May.
- López Ramírez, P. A., y Andrade Sosa, H. (2013). Aprendizaje con robótica, algunas experiencias. *Educación*, 37(1).
- Malec, J. (2001). Some thoughts on robotics for education. En *2001 aaai spring symposium on robotics and education*.
- Marzal, A., Llorens, D., y Gracia, I. (2003). *Aprender a programar con python: una experiencia docente*. Universitat Jaume I, Obtenido de: <http://es.tldp.org/Presentaciones/200309hispalinux/15/15.pdf>.
- Marzal, A., y Luengo, I. G. (2004). *Introducción a la programación con python y c*. Publicacions de la Universitat Jaume I.
- Montoya, M. S. R., y Aguilar, J. V. B. (2012). Recursos educativos abiertos en ambientes enriquecidos con tecnología.
- Papert, S. (1993). *The children's machine: rethinking school in the age of the computer*. New York: BasicBooks. (OCLC: 27264650)

- Pittí, K., Curto Diego, M. B., y Moreno Rodilla, V. (2010). Experiencias construccionistas con robótica educativa en el Centro Internacional de Tecnologías Avanzadas. *Teoría de la Educación*, 11(1), 26. Descargado 2016-08-26, de <http://gredos.usal.es/jspui/handle/10366/72852>
- Raymond, E. S. (1998). La catedral y el bazar. *The Linux Logic Home Page*, 12. Descargado 2016-08-26, de <http://www.athanazio.com/downloads/livros/catedral-ou-bazar.pdf>
- Reyes Cortés, F. (2011). *Robótica: control de Robots manipuladores*. México: Alfaomega. (OCLC: 931981753)
- Sadosky, F. (2013). Cc-2016 una propuesta para refundar la enseñanza de la computación de las escuelas argentinas. *Buenos Aires*.
- Sanchez, F. A. B., y Guzman, A. F. (2012). La robótica como un recurso para facilitar el aprendizaje y desarrollo de competencias generales. *Education in the knowledge society (EKS)*, 13(2), 120–136. Descargado 2016-08-21, de <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=3979056>
- Seymour Papert. (1987). *Desafío de la mente*.
- Stallman, R. M. (2007). *Software libre para una sociedad libre*. Traficantes de Sueños. (Google-Books-ID: ww9XAgAACAAJ)
- Zabala, G. (2007). *Robótica*. Buenos Aires: Gradi.