

UNIVERSIDAD  
**NACIONAL**  
DE COLOMBIA

# **Red distribuida para soporte de un laboratorio virtual orientado a la capacitación en sistemas de riego sustentables.**

**Cristian David Dallos Loaiza**

Universidad Nacional de Colombia  
Facultad de Ingeniería y Arquitectura, Departamento de eléctrica, electrónica y  
computación.

Manizales, Colombia

2022

# **Distributed network to support a virtual laboratory oriented to training in sustainable irrigation systems.**

**Cristian David Dallos Loaiza**

Universidad Nacional De Colombia – Manizales  
Faculty of Engineering and Architecture  
Electrical, Electronic and Computer Engineering Department  
Manizales, Colombia

2022

# **Red distribuida para soporte de un laboratorio virtual orientado a la capacitación en sistemas de riego sustentables.**

**Cristian David Dallos Loaiza**

Proyecto final de investigación presentado como requisito para optar al título de:  
**Magister en Ingeniería- Ingeniería Eléctrica**

Director (a):  
PhD. Julio César García Álvarez

Grupo de Investigación:  
Propagación Electromagnética Aplicada- PROPELA.

Universidad Nacional de Colombia  
Facultad de ingeniería y Arquitectura  
, Departamento de ingeniería Eléctrica, Electrónica y Computación  
Manizales, Colombia

2022

*Dedicatoria*

*A mis padres Amparo, Alberto y Guillermo, a mi amada esposa Paola a mis hermanos Jorge, Freddy y Edison, a mi sobrino y sobrinas.*

## Declaración de obra original

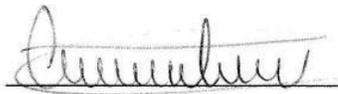
Yo declaro lo siguiente:

He leído el Acuerdo 035 de 2003 del Consejo Académico de la Universidad Nacional. «Reglamento sobre propiedad intelectual» y la Normatividad Nacional relacionada al respeto de los derechos de autor. Esta disertación representa mi trabajo original, excepto donde he reconocido las ideas, las palabras, o materiales de otros autores.

Cuando se han presentado ideas o palabras de otros autores en esta disertación, he realizado su respectivo reconocimiento aplicando correctamente los esquemas de citas y referencias bibliográficas en el estilo requerido.

He obtenido el permiso del autor o editor para incluir cualquier material con derechos de autor (por ejemplo, tablas, figuras, instrumentos de encuesta o grandes porciones de texto).

Por último, he sometido esta disertación a la herramienta de integridad académica, definida por la universidad.



---

Cristian David Dallos Loaiza

Fecha 13/05/2022

## **Agradecimientos**

A mi familia, a mis padres y hermanos que han sido parte vital en este proceso apoyándome y motivándome para salir adelante, con su comprensión, cariño y consejos, gracias por todo, los quiero con todo mi corazón.

A mi amada esposa, que me ha motivado cuando decaigo que con su amor y comprensión ha sabido apoyarme en los buenos y malos momentos, quien ha sido un motor para salir adelante, crecer como persona y pulirme como ser humano, gracias por todo

A mi tutor Julio César, que durante estos años que hemos pasado juntos en la academia, me ha apoyado en todos los proyectos y que de la mejor manera ha compartido sus saberes y experiencia para hacerme un mejor profesional.

Finalmente, a la Universidad Nacional De Colombia a la Dirección Nacional de Innovación Académica (DNIA) y la Dirección Académica de Manizales que gracias a los recursos financieros y su apoyo hicieron realidad este proyecto

## Resumen

El presente trabajo ilustra el proceso de diseño e implementación de un laboratorio virtual invernadero, con prácticas de riego automático donde se aplicó la metodología de aprendizaje basado en proyectos, que derivó en un curso de educación distribuida para apropiar la ciencia, la tecnología y la innovación en actividades que involucren la agricultura, con un enfoque práctico. Además, el proyecto contribuye a ampliar los estudios de caso de modelos híbridos de aprendizaje.

En el presente proyecto se entregaron 10 kits de aprendizaje a estudiantes de la Sede Manizales, dichos kits basados en sistemas embebidos Arduino con módulos electrónicos como son sensores y actuadores para realizar el montaje práctico de un sistema de riego automático, y el estudiante se involucró en un proceso donde acepta el reto que se le plantea, éste se compromete a resolverlo, lo lleva a actuar por medio de la experimentación y en ese proceso genera reflexiones y aprendizajes que le van a servir para conceptualizar los temas que se tratan en todo el contenido del curso.

Se concluyó que para el caso puntual el curso en general a 6 de los 8 participantes que respondieron la encuesta le pareció excelente y a los 2 restantes les pareció bueno. Además 5 de los participantes aprendieron algo nuevo y 5 mejoraron sus habilidades en la programación de Arduino. De igual forma, 5 de los participantes mejoraron sus conocimientos en la construcción y ensamble de sistemas de riego, 5 de los estudiantes, aprendieron algo nuevo en esta área.

**Palabras clave:** Ingeniería, aprendizaje, Laboratorio Virtual, Riego, educación distribuida, Arduino, Aprendizaje basado en proyectos.

## Abstract

The present work illustrates the design and implementation process of a virtual greenhouse laboratory, with automatic irrigation practices where the project-based learning methodology was applied, which led to a distributed education course to appropriate science, technology and innovation. in activities that involve agriculture, with a practical approach. In addition, the project contributes to expanding the case studies of hybrid learning models.

In this project, 10 learning kits were delivered to students from the Manizales Campus, these kits based on Arduino embedded systems with electronic modules such as sensors and actuators to carry out the practical assembly of an automatic irrigation system, and the student was involved in a process where he accepts the challenge that is posed to him, he commits to solve it, leads him to act through experimentation and in that process generates reflections and learning that will serve to conceptualize the issues that are discussed in all the content of the course.

It was concluded that for the specific case, the course in general seemed excellent to 6 of the 8 participants who answered the survey and the remaining 2 found it good. In addition, 5 of the participants learned something new and 5 improved their Arduino programming skills. Similarly, 5 of the participants improved their knowledge in the construction and assembly of irrigation systems, 5 of the students learned something new in this area.

**Keywords:** Engineering, learning, Virtual Laboratory, Irrigation, distributed education, Arduino, Project-Based Learning.

# Contenido

<b>Resumen .....</b>	<b>16</b>
<b>Introducción .....</b>	<b>21</b>
<b>1.Introducción.....</b>	<b>21</b>
1.1 Planteamiento del problema .....	21
1.2 Justificación.....	4
1.3 Objetivos del proyecto .....	6
1.3.1 Objetivo General.....	6
1.3.2 Objetivos Específicos.....	6
1.4 Estado del arte .....	7
1.5 Aporte del proyecto final.....	9
<b>2. Marco Conceptual .....</b>	<b>10</b>
2.1 Sistemas de riego automático .....	10
2.1.1 Sensor .....	11
2.1.1 Actuador .....	11
2.1.2 Microcontrolador.....	12
2.2 Paradigmas educativos .....	12
2.3 Ambientes híbridos de aprendizaje.....	13
2.4 Diferencias entre laboratorio físico, virtual y remoto .....	13
2.4.1 Evaluación de módulos de educación virtual.....	14
2.4.2 Red educativa distribuida.....	15
2.4.3 Educación distribuida.....	15
2.1 Sistema de gestión de aprendizaje.....	16
<b>3. Metodología del proyecto .....</b>	<b>17</b>
3.1 Paso 1: Identificación del problema .....	18
3.2 Paso 2: Selección del tema (Pregunta Guía) .....	18
3.3 Paso 3: Definición del objetivo y selección del producto a desarrollar .....	20
3.4 Paso 4: Selección de plataforma educativa .....	20
3.5 Paso 5: Diseño de curso y materiales de capacitación. ....	20
3.6 Paso 6: Selección del público objetivo.....	26
3.7 Paso 7: Prueba piloto .....	27
3.7.1 Fase 1: Entrega de materiales .....	27
3.7.2 Fase 2: Lanzamiento del curso .....	28
3.8 Evaluación del proceso .....	29
3.9 Productos obtenidos.....	31
3.9.1 Curso en Coursera.....	31
<b>4. Conclusiones y recomendaciones .....</b>	<b>37</b>
4.1 Conclusiones.....	37
4.2 Recomendaciones.....	39
<b>Bibliografía .....</b>	<b>39</b>

## Lista de figuras

<b>Figura 2-1:</b> Sistema de riego automático con Arduino.....	10
<b>Figura 2-2:</b> Sensor.....	11
<b>Figura 2-3:</b> Actuador.....	11
<b>Figura 2-4:</b> Educación distribuida .....	16
<b>Figura 3-1:</b> Proceso de aprendizaje (Elaboración propia) .....	17
<b>Figura 3-2:</b> Modelo de red enfocado en servidor web .....	18
<b>Figura 3-3:</b> Invernadero y sistema de riego.....	19
<b>Figura 3-4:</b> Video de enseñanza instalación Arduino IDE .....	21
<b>Figura 3-5:</b> Video Partes del microcontrolador Arduino.....	21
<b>Figura 3-6:</b> Partes de sensores y actuadores. ....	22
<b>Figura 3-7:</b> Proceso de programación y unificación del código .....	23
<b>Figura 3-8:</b> Conexión del higrómetro .....	24
<b>Figura 3-9:</b> Conexión del sensor de ultrasonido.....	24
<b>Figura 3-10:</b> Conexión sensor DHT11 .....	25
<b>Figura 3-11:</b> Conexión Electrobomba .....	25
<b>Figura 3-12:</b> Carreras de los estudiantes que se inscribieron al curso .....	26
<b>Figura 3-13:</b> Semestre en los que iba cada estudiante inscrito .....	26
<b>Figura 3-14:</b> Condición especial .....	27
<b>Figura 3-15:</b> Gustos y afinidad con el proyecto .....	27
<b>Figura 3-16:</b> Kit completo.....	27
<b>Figura 3-17:</b> kit de sistema de riego (fotos).....	28
<b>Figura 3-18:</b> Asesoría a estudiantes por <i>Google Meet</i> .....	28
<b>Figura 3-19:</b> Evidencias tareas propuestas en la plataforma educativa. ....	29
<b>Figura 3-20:</b> :Encuesta a estudiantes .....	30
<b>Figura 3-21:</b> : Encuesta de módulo de enseñanza.....	30
<b>Figura 3-22:</b> Encuesta sobre conocimientos en Arduino .....	31
<b>Figura 3-23:</b> Encuesta sobre aprendizaje en sistemas de riego .....	31
<b>Figura 3-24:</b> Curso lanzado en la plataforma Coursera .....	32
<b>Figura 3-25:</b> Módulo de introducción .....	32
<b>Figura 3-26:</b> Módulo de estructura y sistema de riego .....	33
<b>Figura 3-27:</b> Módulo de programación del invernadero.....	33
<b>Figura 3-28:</b> Contenido módulo de programación.....	34
<b>Figura 3-29:</b> Módulo 4 conexiones y aplicaciones .....	34
<b>Figura 3-30:</b> Contenido módulo 4 .....	35
<b>Figura 3-31:</b> Calificación global del curso por parte de los inscritos.....	35
<b>Figura 3-32:</b> Estadísticas del curso.....	36
<b>Figura 3-33:</b> Interacción por nivel educativo. ....	36
<b>Figura 3-34:</b> Interacción geográfica del curso .....	37



# Introducción

## 1.Introducción

### 1.1 Planteamiento del problema

“Según datos de la Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura (UNESCO) a mediados de mayo de 2020 más de 1.200 millones de estudiantes de todos los niveles de enseñanza, en todo el mundo, habían dejado de tener clases presenciales en la escuela. De ellos, más de 160 millones eran estudiantes de América Latina y el Caribe” (CEPAL-UNESCO, 2020), lo que demuestra que existe una gran necesidad de implementar espacios de trabajos virtuales en apoyo a la educación, en esta crisis mundial y para aportar a la virtualización educativa.

Desde hace varias décadas antes de la contingencia por la pandemia, en países en desarrollo como Colombia se había hecho evidente la carencia de recursos e infraestructura para permitir el acceso del sistema educativo en lugares apartados de zonas urbanas, con problemas de orden público o marginados por ausencia o deficiencia de planes gubernamentales. Esta situación se hizo más evidente conforme se crearon planes de conectividad para el acceso a la educación como Colombia Vive Digital o Computadores para Educar (Ministerio de Educación Nacional, 2020), debido a la falta de infraestructura física para que los centros educativos en las condiciones de marginalidad mencionadas anteriormente pudieran tener acceso a las plataformas educativas virtuales como apoyo a la cátedra y procesos pedagógicos docentes.

Las medidas de contingencia y restricciones por la propagación del COVID-19 catapultaron la necesidad de establecer estrategias que reemplacen la asistencia a auditorios o salones de clase, tanto para la recepción de clases magistrales como las prácticas presenciales dentro de un laboratorio. En este segundo aspecto, la base del proceso cognitivo para los

estudiantes de ingeniería es el conjunto de experimentos y prácticas que puedan realizar en el laboratorio. Por tanto, el laboratorio es tan importante como la cátedra teórica; sin embargo, las instalaciones del laboratorio fueron cerradas debido a las medidas de contingencia y la infraestructura de red para las clases virtuales. Esta situación ha llevado a incumplimiento de objetivos de aprendizaje por parte de los estudiantes y fallas en los objetivos pedagógicos de los programas académicos.

Por lo tanto, el COVID-19 mostró que Colombia no estaba preparado para la educación virtual tanto en colegio como universidades, pero esto abrió posibilidades a la innovación en las formas de enseñanza y de cómo el conocimiento se transmite, existiendo una necesidad clara de ¿cómo? desde la virtualidad garantizo calidad educativa, por lo cual una de las soluciones , como lo afirma Triana sería usar laboratorios o herramientas virtuales, los cuales, debido a la pandemia, han pasado a ser herramienta fundamental en la educación, para la enseñanza de la experimentación presentando varias ventajas en comparación a los laboratorios presenciales; la principal, la reducción de costos y el poder llegar a estudiantes a distancias lejanas con acceso a internet (Triana et al., 2020)

El objetivo es que los estudiantes puedan formarse desde la virtualidad pero encontrando estrategias que los lleven a practicar lo aprendido, para que así no se vayan generando vacíos en conceptos, ayudándoles a afianzar sus conocimientos, apoyados en las TICs y los ambientes virtuales de aprendizaje (AVA) donde estos entornos emulan los espacios reales, además se debe aprovechar la diversidad cultural de nuestra ciudad universitaria, sus estudiantes, profesores y comunidad en general, para desarrollar nuevas formas de aprender, investigar y complementar la enseñanza con otras metodologías.

En consecuencia, las actividades de laboratorio virtual son estrategias que sirvieron para involucrar a los estudiantes de pregrado en prácticas científicas durante la pandemia de COVID-19 y sirve como un complemento en el retorno a la presencialidad. Los estudiantes pueden realizar experimentos a distancia, sobre ingeniería y sistemas de riego. El laboratorio virtual de aprendizaje aquí nombrado, proporciona a los estudiantes experiencia equipos de control, riego y aplicaciones relacionadas con agricultura, en su mayoría éstos constan de un microcontrolador, una fuente de energía, sensores y actuadores, con lo cual

---

cuenta el kit donado a los estudiantes. Esta herramienta introduce nuevas formas de aprender e investigar aprovechando las TIC 's para educar a distancia y remotamente.

De igual forma, no solo se debe tener en cuenta la infraestructura tecnológica sino de forma integral otros aspectos. Brackett afirma que cuando las clases se ven condicionadas por alguna crisis de cualquier índole, el rendimiento de un estudiante puede verse afectado o influenciado por el factor emocional (Brackett, 2004). Además, Castañeda y Vargas indican que “De este modo, se revisa cómo el rol socio afectivo del docente ha permitido que los estudiantes sigan involucrándose en el proceso de aprendizaje a través de las Tecnologías de la Información y de la Comunicación” (Castañeda Rodríguez & Vargas Jaimes,2021).

La generación considerada Nativos digitales, es aquella que ha crecido usando herramientas virtuales, por ello se requiere que los estudiantes de esa generación tomen un papel importante en la participación en experiencias científicas que los motiven; por ejemplo, hoy en día pueden investigar fenómenos físicos, utilizando herramientas virtuales y de recolección de datos, apoyándose en laboratorios virtuales aprovechando las simulaciones (Jong; Linn & Zacharia, 2013). El laboratorio virtual tiene como objetivo recolectar datos de un experimento sin requerir el montaje real (M. Stefanovic,2013). Para que los espacios virtuales como *Classroom* y de simulación puedan aplicarse eficientemente, estos deben tener características para la orientación, el apoyo, el monitoreo y la evaluación de los estudiantes (Keller & Keller, 2005) Por lo tanto existe una necesidad de evaluar cómo la virtualidad ha transformado los modelos educativos actuales.

Entonces surge el interrogante ¿Cómo desarrollar nuevas formas de aprender a través de herramientas prácticas y laboratorios virtuales que promuevan en los estudiantes el crear e investigar, aprovechando el trabajo autónomo, las TICs y los recursos de infraestructura del campus universitario? Además de la reducción de costos y el poder llegar a estudiantes a distancias lejanas.

En consecuencia, al uso de la tecnología también surge el término de educación a distancia claro está que éste no es un término nuevo (Barberá,2013), en términos generales, se refiere a la educación formal donde los involucrados como son el estudiante, el docente no requieren la asistencia presencial, sino que lo hacen a distancia. En este caso, el estudiante puede recibir el material de estudio por diferentes medios, sea por correo postal si se trata

de material audiovisual, se utilizan medios como correo electrónico, en caso de falta de acceso a internet puede ser a través de la radio.

## **1.2 Justificación**

El interés en realizar el proyecto nace a partir de la necesidad de generar herramientas educativas que mejoren los procesos de aprendizaje impartido en las aulas, además de mostrar la importancia de la sustentabilidad y la apropiación de la ciencia, la tecnología y la innovación en actividades que involucren la agricultura y puedan tener impacto futuro en la mentalidad de los profesionales dándole un componente técnico y uno social que le ayuda en la resolución de problemas de la vida real.

Por lo tanto se hace necesario implementar desarrollos tecnológicos que aborden el campo de la educación virtual, por ello se decide trabajar en el área de laboratorios virtuales que permitan hacer experimentos simulados para motivar el afianzamiento y apropiación del conocimiento, desde el cual un usuario desde su casa, se puede formar integralmente, específicamente en éste proyecto que relaciona el agro y la ingeniería, para formar profesionales con una visión de solucionar problemas del mundo real orientados a ayudar a la sociedad y a su comunidad.

Seguidamente, Apoyándose en (García, 2002) la educación virtual, se enfatiza en que los procesos y elementos son los materiales, la interacción entre docente y estudiantes, la evaluación, el proceso enseñanza-aprendizaje, inclusive los procesos de inscripción, en los cuales, en este proyecto de reto pedagógico de ingeniería y agricultura, en el cual se realizó una inscripción abierta usando Google Forms y se da un aporte a la comunidad universitaria eligiendo a 10 ganadores y/o beneficiarios de un kit de aprendizaje. Dentro de este proceso se usa la educación virtual y como herramientas los dispositivos móviles, ordenadores que cuenten con acceso a internet.

Así que, el objetivo es que los estudiantes puedan formarse desde la virtualidad pero encontrando estrategias que los lleven a practicar lo aprendido, para que así no se vayan generando vacíos en conceptos, ayudándoles a afianzar sus conocimientos, apoyados en

los ambientes virtuales de aprendizaje (AVA) donde estos entornos emulan los espacios reales, además se debe aprovechar la diversidad cultural de nuestra ciudad universitaria, sus estudiantes, profesores y comunidad en general, para desarrollar nuevas formas de aprender, investigar y complementar la enseñanza con otras metodologías.

Por otro lado, el paradigma de aprendizaje se basa en el cooperativismo y colaboración, donde su filosofía es que el logro y el éxito son el resultado del trabajo en equipo, reconoce que el principal agente en el proceso es el que aprende: los estudiantes deben ser exploradores y constructores de su propio aprendizaje; por lo cual éste último paradigma asume la meta de promover lo que Garnerd llama “educación para la comprensión” (Garnerd,1995).

De igual forma, desde el punto de vista político el Decreto 1330 de 2019, expedido por el Gobierno Nacional, establece la posibilidad de ofrecer programas académicos de educación superior en diferentes modalidades. En concreto, el Decreto establece las siguientes: presencial, a distancia, virtual, dual u otros desarrollos que combinen o integren las anteriores.

Las tecnologías digitales facilitan el establecimiento de la flexibilidad espacio temporal en los contextos educativos. De hecho, nos permiten establecer un continuo formativo (Osorio & Duart, 2011) que va más allá incluso de situarse únicamente en una modalidad, ya que combina las modalidades entre sí, por ejemplo, en un mismo curso

El Ministerio de Educación recomienda, que exista coherencia entre la modalidad seleccionada (como la virtual), los planes de desarrollo y las condiciones institucionales para el correcto despliegue, que se debe tener en cuenta el perfil de los estudiantes, que cuenten con acceso de conexión y tengan habilidades digitales

Otras recomendaciones se enumeran a continuación:

- Diseñar ambientes de aprendizaje, materiales educativos digitales y prácticas innovadoras como vehículos para la generación de nuevos conocimientos y aprendizajes en las diversas áreas de estudio.

- Aprovechar las ventajas que ofrece la tecnología para mejorar la interacción, el aprendizaje activo, ubicuo y colaborativo.
- Explorar e implementar actividades con el uso de tecnología para potenciar los sentidos de cada uno de sus estudiantes, en coherencia con su estilo de aprendizaje

La integración de tecnologías en los procesos de enseñanza y aprendizaje replantea las metodologías tradicionales, determinando nuevos roles para los profesores y los estudiantes, además de una buena adecuación pedagógica de los recursos educativos digitales, que garantice la interactividad, el trabajo colaborativo y el aprendizaje activo de los estudiantes.

No se debe olvidar nunca la capacitación constante de los actores del proceso como son estudiantes y profesores, ellos necesitan acompañamiento en los procesos de apropiación de los recursos tecnológicos. El apoyo puede ser institucional, del contexto o de la administración educativa y debe ir dirigido a la mejora de las estrategias de aprendizaje y a la reducción o eliminación de barreras emocionales y contextuales.

## **1.3 Objetivos del proyecto**

### **1.3.1 Objetivo General**

Realizar una técnica de evaluación comparativa entre el uso de un laboratorio físico y el laboratorio virtual, con métricas que permitan una conclusión sobre el estudio.

### **1.3.2 Objetivos Específicos**

- Desarrollar un laboratorio virtual de un invernadero con práctica de riego automático
- Proponer un modelo de red de computación distribuida para evaluar los laboratorios virtuales.

## 1.4 Estado del arte

En la literatura se puede encontrar diferente información relacionada con laboratorios virtuales que apoyan el aprendizaje en ingeniería, pero hay que comprender que cuando se habla de educación mediada por tecnología se le atribuye un nombre especial y es educación 4.0 que tiene que ver mucho con la revolución 4.0.

De acuerdo con Olvera, la “interacción entre humanos y máquinas con inteligencia artificial inmersos en sistemas cibernéticos. Es decir, se cimienta en industrias inteligentes que transforman la forma de vivir y de crear relaciones sociales y productivas” (Olvera et al., 2019)

Por lo tanto, la educación 4.0, puede concebirse como un enfoque educativo versátil, que básicamente consiste en usar las mejores características o elementos de varios métodos, en este caso varios métodos de enseñanza por ejemplo presencial, virtual, enfoque tradicional y moderno con el objetivo de formar ciudadanos modernos. Sin embargo, este proyecto de sistema de riego automático que se desarrolla en esta tesis, permite generar atributos para ese tipo de ciudadanos como son el autoaprendizaje, pues el aporte de este proyecto permite que los estudiantes aprendan de forma autónoma utilizando el kit de sistema de riego donado e igualmente con la utilización del material suministrado en el curso virtual, se comprometa con su propio aprendizaje a través de la experimentación.

Dicho lo anterior, este tipo de habilidades también implica la evolución de las clases presenciales a las virtuales y/o distancia la migración de los contenidos tradicionales a contenidos como los cursos en línea masivos y abiertos o MOOC por sus siglas en inglés. En complemento, este tipo de cursos permiten la variabilidad de los contenidos para el aprendizaje, ya sea en las aulas formales o en la formación particular o personal. Análogamente, se han desarrollado varias herramientas de simulación, cada vez más aproximadas a las pruebas y experimentos de la vida real. Estas herramientas permiten llegar a los bancos de pruebas de laboratorio caros y elaborados a una población que no tiene recursos ni acceso para responder este tipo de pruebas en el sitio. Por eso después de la realización de éste proyecto y debido a su diferencial, ya que hay pocos disponibles que mezclen ingeniería y agricultura de la forma en que se plantea en éste curso y con las aplicaciones puntuales que se dan, Coursera que es una plataforma (MOOC), se interesó en lanzarlo en su plataforma y través de un convenio con la Universidad Nacional De

Colombia se está llevando a cabo el montaje del material en ésta plataforma. Actualmente se están ampliando los contenidos, para su posterior lanzamiento oficial.

Sin embargo, los laboratorios virtuales utilizan formatos que incluyen objetos multimedia interactivos. Estos formatos incluyen textos, sonido, hipertexto, imágenes, videos, animaciones y gráficos (Vázquez et al.,2012). No obstante, el entorno de aprendizaje virtual puede ubicarse en sitios de Internet (Babateen, 2011) y los estudiantes o usuarios pueden controlar y trabajar con unidades gráficas que representan objetos experimentales. En un laboratorio virtual, los experimentos son controlados parcial o totalmente mediante el uso de computadoras, simulaciones y animaciones, ahora más recientemente con el uso de dispositivos móviles (Frank & Kapila, 2017. El usuario puede observar el proceso y el resultado final a través de las animaciones (Chan & Fok 2009). A diferencia, este laboratorio virtual orientado a la capacitación en sistemas de riego del presente proyecto se ubica en un entorno web, en el cual se capacita sobre todo el proceso de programación y de conexiones electrónicos pero adicional a ello, los estudiantes interactúan no con unidades gráficas sino con objetos reales, ya que en este caso los dispositivos como sensores, actuadores, microcontroladores y el invernadero se le suministró como material a los participantes del proceso.

En complemento, Dalgarno y Lee afirman que la capacidad del laboratorio virtual para replicar la realidad puede afectar el nivel de calidad de la experiencia (QoS) o la sensación de "estar allí" o "Sentido de presencia" para los usuarios del laboratorio. Aquí, la inmersión sigue siendo relativamente baja, pero el compromiso se mejora porque los usuarios entienden que están manipulando instrumentos físicos y componentes (Dalgarno & Lee ,2010). Por lo tanto, para lograr un proceso más apropiado para la situación, en el presente estudio, se optó por realizar la mezcla entre un modelo físico para experimentar y una capacitación usando tecnologías de la información y las comunicaciones como un modelo educativo distribuido a través del uso de la infraestructura educativa classroom.

La virtualización basada en híbridos tiene como objetivo incorporar las características positivas de todos los sistemas mencionados, muchos laboratorios físicos hoy en día están mediados por computadoras, lo que los hace parcialmente equivalente a laboratorios simulados y remotos. Esta observación cierra la brecha entre los laboratorios físicos, simulados y remotos. Además, Según García, un esquema híbrido entre las aulas virtuales, experimentos de simulación y aplicaciones reales de laboratorio/industria permiten al

---

alumno ayudar de forma remota a un laboratorio o prueba; por lo tanto, los contenidos teóricos podrían fusionarse con el trabajo profesional y/o de investigación (Garcia J. 2018).

Los laboratorios virtuales replican el entorno físico y tienen funciones interactivas de recolección de datos para apoyar el aprendizaje y la colaboración. Las actividades de los estudiantes se pueden canalizar para medir su desempeño y apoyar su aprendizaje. El software puede tener características para la orientación, el apoyo, el monitoreo y la evaluación de los estudiantes (Keller & Keller, 2005)

## **1.5 Aporte del proyecto final**

Este proyecto final de maestría, contribuye a ampliar los estudios de caso de modelos híbridos de aprendizaje, es necesario resaltar que el proceso que se presenta en este trabajo va más allá de un laboratorio virtual porque no solo cuenta con información multimedia, sino que además los estudiantes pueden interactuar con el laboratorio físico y así realizar experimentos que le permiten ver el resultado en el momento en el que realiza la prueba, diferente a lo que se encuentra en el estado del arte, en donde un laboratorio virtual solo se limita al contenido en línea, pues en este el estudiante después de haber seguido los tutoriales indicados en el curso, a su vez interactúa físicamente con su respectivo kit de invernadero a escala y sus elementos electrónicos para el sistema de riego automático, complementando así su experiencia basada en un esquema híbrido de aprendizaje (físico y virtual), ayudando a tener un proceso más práctico mejor que solo una simulación, todo con el objetivo de facilitar el trabajo autónomo, promoviendo en los estudiantes el aprovechamiento de los recursos físicos, virtuales y humanos de la academia.

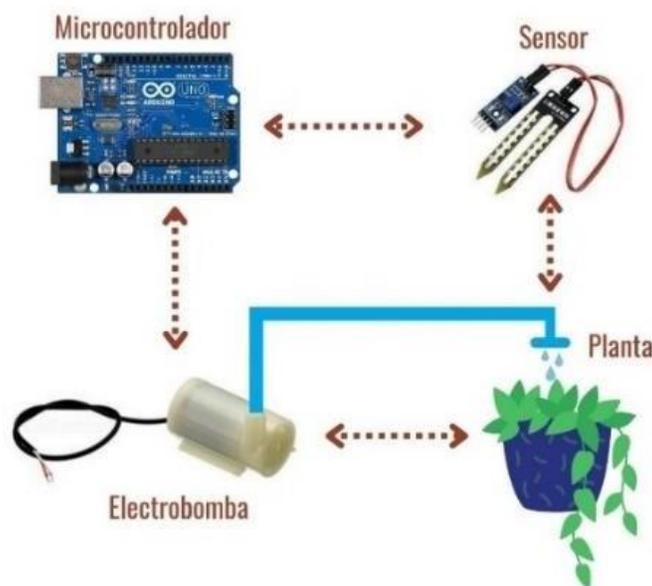
Esta metodología encamina a los estudiantes en un proceso secuencial partiendo de un problema real, el cual reta e incentiva a comprometerse con la solución lo que deriva en acciones que conllevan a un proceso experimental donde el estudiante reflexiona y aprende, para realizar una conceptualización de la temática tratada generando habilidades en los involucrados como son autoaprendizaje, trabajo autónomo y compromiso con su propio aprendizaje. Enfocado en la mezcla entre un modelo físico para experimentar uno virtual a través de la capacitación usando tecnologías de la información y las comunicaciones, como un modelo educativo distribuido por medio del uso de las infraestructuras tecnológicas educativas.

Posteriormente resultó un convenio entre la Universidad Nacional De Colombia y *Coursera*, donde ésta plataforma de cursos masivos en la cual después de haber firmado el convenio en la calidad de tutor, se creó un curso en dicha plataforma denominado ***Aprendizajes en Ingeniería y Agricultura con Arduino: Construcción y automatización de un invernadero*** con la finalidad de expandirlo a un mayor número de personas para así generar un mayor impacto.

## 2. Marco Conceptual

### 2.1 Sistemas de riego automático

El riego automático es un sistema diseñado para la distribución de agua de forma controlada a las plantas o cultivos, teniendo en cuenta ciertos parámetros medidos por sensores que estarán determinados por el tipo de planta y que finalmente llevarán a controlar un actuador usándose microcontradores para tal fin.



**Figura 2-1:** Sistema de riego automático con Arduino

### 2.1.1 Sensor

Dispositivo que produce una señal eléctrica de salida cuando toma cualquier entrada del entorno del mundo real. Dicho elemento capta magnitudes físicas como humedad, temperatura, sonido entre otras y las transforma en información útil, en forma análoga como el voltaje o digital de forma binaria.

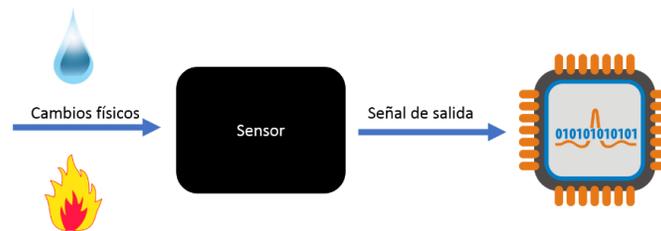


Figura 2-2: Sensor

### 2.1.1 Actuador

Un actuador es un dispositivo que convierte una señal eléctrica en trabajo mecánico, afectando así el ambiente donde se encuentra, un actuador en un sistema automático depende de los datos proporcionados por un sensor para activarse o ejecutar la tarea programada.



Figura 2-3: Actuador

### **2.1.2 Microcontrolador**

Un microcontrolador es un circuito integrado programable, capaz de ejecutar las órdenes grabadas en su memoria. Este dispositivo incluye unidad central de procesamiento, memoria y periféricos de entrada y salida.

## **2.2 Paradigmas educativos**

Tradicionalmente, la educación ha seguido el modelo prusiano (Nuhoglu & Strang, 1989), en el que se acomodan por filas en pupitres y los estudiantes reciben clases por un docente de forma magistral; el conocimiento ha sido entregado de forma repetitiva: lecciones, lecturas y exámenes, sin tener en cuenta otros aspectos que hacen parte del proceso de enseñanza/aprendizaje. Con el tiempo se ha ido introduciendo nuevas metodologías como la educación STEM (Ciencias- Tecnología-Ingeniería-Matemáticas) el cual según Vásquez es “un enfoque interdisciplinario al aprendizaje que remueve las barreras tradicionales de las cuatro disciplinas e integra en sus actividades todas las áreas del currículo y las conecta con el mundo real con experiencias rigurosas y relevantes para los estudiantes” (Vasquez et al., 2013)

Otras metodologías de enseñanza como CDIO concebido en los 90's en el MIT en colaboración con 3 universidades suecas, se basa en la premisa de concebir, diseñar, implementar, y operar sistemas complejos, el trabajo en equipo y la evaluación basada en resultados. El enfoque CDIO utiliza herramientas de aprendizaje activo, como proyectos grupales y aprendizaje basado en problemas.

Uno de los problemas más comunes en la educación ha sido evaluar el progreso de los estudiantes a medida que van avanzando en su aprendizaje de una forma más personalizada, es por tanto importante la inclusión de modelos pedagógicos en la metodología del curso que permitan este proceso

Existen diferentes puntos de vista donde los estudiantes planifican y evalúan los logros obtenidos en el curso o práctica que realicen. Uno de ellos se conoce como el paradigma de enseñanza, que se basa en la competencia y el individualismo y en el cual el aprendizaje es automático: el docente dosifica la información y los estudiantes adquieren los conocimientos (memorizan). Por otro lado, el paradigma de aprendizaje se basa en el cooperativismo y colaboración, donde su filosofía es que el logro y el éxito son el resultado del trabajo en equipo, reconoce que el principal agente en el proceso es el que aprende: los estudiantes deben ser exploradores y constructores de su propio aprendizaje; por lo cual

---

éste último paradigma asume la meta de promover lo que Garnerd llama “educación para la comprensión” (Garnerd,1995).

## **2.3 Ambientes híbridos de aprendizaje**

Como lo expresa Duart “Esta modalidad formativa se define por el uso entrelazado de la presencia con la no presencia en las aulas. Ello tan sólo se puede conseguir modificando el diseño y la planificación docente y de aprendizaje de los cursos y de las asignaturas” (Duart et al., 2008)

“Así visto, el concepto híbrido constituye una posibilidad de continuo en el proceso enseñanza-aprendizaje puesto que puede verse como la expansión y continuidad espaciotemporal (presencial y no presencial, sincrónica y asincrónica) en el ambiente de aprendizaje” (Osorio Gómez,2010)

Básicamente, el concepto de aprendizaje híbrido es la mezcla de 2 o más diferentes formas o métodos de aprendizaje.

## **2.4 Diferencias entre laboratorio físico, virtual y remoto**

Laboratorio físico se refiere a los laboratorios tradicionales que se basan en locaciones con equipos físicos (Budhu, 2000). En contraste, un laboratorio virtual es una experiencia de laboratorio sin requerir de un laboratorio físico (Keller & Keller, 2005) donde los estudiantes pueden aprender también en un laboratorio virtual como en un laboratorio físico (Balamuralithara & Woods 2012). En las últimas décadas, los laboratorios virtuales han ganado popularidad asumiendo papeles de apoyo o incluso sustitutivos en el contexto de laboratorios físicos (Gil Vazquez et al., 2012). Los estudiantes sienten que las experiencias informáticas no pueden reemplazar totalmente la experiencia física del laboratorio, pero han reconocido que las experiencias informáticas pueden desempeñar un papel complementario (Flick & Bell, 2000).

Por el contrario, un laboratorio remoto, más generalmente, la arquitectura orientada a servicios representa una característica clave para permitir la interconexión y la cooperación efectiva de instrumentación remota. Este último incluye una gran cantidad de dispositivos, con naturaleza que en última instancia comparte las características comunes de estar dedicado a algún tipo de medición sobre fenómenos físicos y de ser geográficamente escaso y operado por distintos usuarios y puntalmente se orienta más a la investigación

académica. Las comunidades científicas adoptaron las tecnologías mencionadas anteriormente involucrando recursos distribuidos y conjuntos de datos masivos, en el contexto de la llamada *e-Science*. En este escenario, la posibilidad de acceder a instrumentos complejos (y caros) ubicados en laboratorios distribuidos como si fueran locales para los usuarios deberían alentar la colaboración entre grupos de investigación distribuidos y el intercambio de experiencias experimentales (Berruti et al., 2008)

De ahí que, para el presente proyecto los estudiantes tendrán, gracias al kit suministrado, un laboratorio físico que a su vez cuenta con un laboratorio virtual a través de un curso disponible en la plataforma *classroom* mezclando así estos dos conceptos y que generan una didáctica al estudiante para el aprendizaje y lo orientan de forma interactiva para realizar actividades prácticas, todo a través de un entorno virtual.

### **2.4.1 Evaluación de módulos de educación virtual**

Para que los espacios virtuales y de simulación puedan aplicarse eficientemente, estos deben tener características para la orientación, el apoyo, el monitoreo y la evaluación de los estudiantes (Keller & Keller, 2005) Por lo tanto existe una necesidad de evaluar cómo la virtualidad ha transformado los modelos educativos actuales.

La UNESCO se refiere a esta modalidad como “un método complementario, alternativo a la educación presencial, para proporcionar formación a todos aquellos colectivos que por diversos motivos no tienen acceso al aula convencional” (García,2006).

Así, un laboratorio virtual tiene como objetivo incluir un escenario de la vida real del cual el estudiante pueda recolectar datos (M. Stefanovic,2013). Un enfoque de un laboratorio virtual hace que las mediciones se aproximen a las realizadas en un laboratorio físico. Además, los laboratorios virtuales tienen algunos valores agregados tales como videos de instrucción del experimento, control remoto del sistema y recopilar datos en varios puntos de la simulación, además de animaciones que ayudan a que el sistema sea más atractivo para los estudiantes (Babateen, 2011).

De igual forma, la formación virtual responde a un cambio de paradigma. No todo es solo tecnología, aquí también se tienen requerimientos psicopedagógicos, los cuales como su nombre lo indica, hacen referencia a los enfoques y paradigmas teóricos que fundamentan el proceso de enseñanza-aprendizaje que será ejecutado a través de las herramientas virtuales de educación, lo que, a su vez, está estrechamente vinculado con los tipos de

aprendizaje a fomentar con estos espacios, como el aprendizaje colaborativo, cooperativo y significativo, entre otros.

En síntesis, cada una de las herramientas deben ser de utilidad a los estudiantes para ser autodidactas y al docente le sirva como mecanismo para analizar la calidad de su enseñanza permitiéndole tomar decisiones en que debe profundizar, en donde hay debilidades y fortalezas en su pedagogía.

### **2.4.2 Red educativa distribuida**

Praveen define una red distribuida como: “Un sistema de red de cómputo distribuido, se dice que está "distribuido" cuando la programación informática y los datos sobre los que se va a trabajar se distribuyen en más de un ordenador por lo general, esto se implementa a través de una red” (Praveen,2015). Además de ser un sistema de red interconectada, independiente y que se distribuye en diferentes ubicaciones geográficas.

### **2.4.3 Educación distribuida**

Brown define la educación distribuida como: “La educación distribuida es un término que se refiere a la entrega de cursos flexibles e independientes de la ubicación. Cubre una variedad de servicios que incluyen el aprendizaje en el campus, la educación a distancia, el aprendizaje en el trabajo y en el hogar. Actualmente, la provisión de educación distribuida está siendo impulsada por una nueva generación de tecnologías. La acción convergente de las tecnologías se ve facilitada por las telecomunicaciones, ya sea en formato cableado o inalámbrico” (Brown,1993)

Este proceso se da cuando el tutor y el estudiante espacialmente se encuentran en lugares separados y el proceso de aprendizaje se da aprovechando las tecnologías de la información y las comunicaciones (TICs) donde se media el aprendizaje con tecnologías como video, mediante el uso de internet o plataformas educativas en general, puede llegar a ser asíncrono o síncrono.



**Figura 2-4:** Educación distribuida

## 2.1 Sistema de gestión de aprendizaje

Consiste en un programa o software instalado en un servidor web, donde se administra, distribuye y controla las actividades educativas de formación en línea de una o muchas instituciones educativas (Subirà & Catasús, 2014) en inglés se conoce como *Learning Management System* (LMS).

La introducción de metodologías nuevas de enseñanza, han facilitado en la educación pos pandemia, usando los Entornos Virtuales De Aprendizaje (EVA), dando posibilidades de acceso a contenidos diversos que se colocan a disposición de los participantes en sitios web o plataformas llamados “aulas virtuales”, los cuales generalmente se administran mediante un sistema de gestión de aprendizajes llamado *Learning Management System* (LMS), un lugar con intenciones de formación educativa, conformado por un conjunto de herramientas informáticas que posibilitan la interacción didáctica, diferente al modelo presencial físico, creándose así un ciberespacio educativo, el cual es un intermediario entre una comunicación entre las partes, estudiantes y docentes.

### 3. Metodología del proyecto

En este proyecto que se lleva a a cabo en el presente trabajo, el estudiante **acepta el reto** que se le plantea, éste se abre al **compromiso de resolverlo**, lo que lo lleva a **actuar** por medio de la **experimentación** y en ese proceso genera **reflexiones y aprendizajes** que le van a servir para **conceptualizar** los temas que se tratan en todo el contenido del curso.



**Figura 3-1:** Proceso de aprendizaje (Elaboración propia)

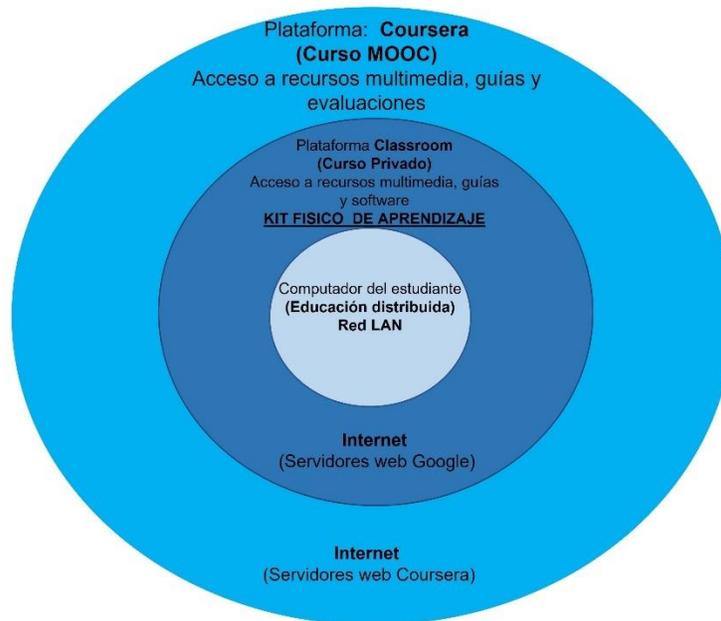
Dicho lo anterior, como consiste en resolver un problema con aplicación práctica, este proceso se basa en el Aprendizaje Basado En proyectos (ABP) y que como lo indica un estudio de la Universidad EAFIT “El ABP es un modelo de aprendizaje con el cual los estudiantes trabajan de manera activa, planean, implementan y evalúan proyectos que tienen aplicación en el mundo real más allá del aula de clase” (José A. Marti Universidad EAFIT et al., 2010).

En consecuencia, este aprendizaje se enfocará principalmente en la implementación, priorizando que los estudiantes a través del proceso que se desarrolla en este trabajo, tengan la oportunidad de aprender nuevos conocimientos por medio de la experimentación en sistemas de riego automático, para ello se realizó una secuencia de pasos que a continuación se detallan.

Por otro lado, se realiza una propuesta de **modelo de red** que permita a la educación distribuida, por ello **se propuso orientar al modelo de servidor web**, debido a la escalabilidad, aprovechando así recursos gratuitos que permiten disminución de costos e implementación.

Para el caso puntual se utiliza como cliente o usuario al estudiante el cual accede a una red LAN, posteriormente este en l primera fase piloto a un recurso privado y restringido, quiere decir que solo tienen acceso a quienes se les autorizó el correo electrónico en este caso se aprovecha el servidor web de Google y se utilizó la plataforma Classroom para que allí el estudiante contara con todos los elementos necesarios para el aprendizaje mediado por la tecnología en complemento con el kit educativo que se le suministró para así poder realizar sus prácticas. Posteriormente en la fase final del proyecto se escala al servidor web de

Coursera, utilizando su plataforma de cursos masivos en línea y gratuitos MOOC donde ya cualquier usuario desde cualquier ubicación geográfica que cuente con un computador y acceso a internet puede acceder a los videos, guías y exámenes que se encuentran allí permitiendo demostrar la escalabilidad que tiene el alojamiento web como mecanismo educativo para la educación virtual.



**Figura 3-2:** Modelo de red enfocado en servidor web

### 3.1 Paso 1: Identificación del problema

Como se habló en la introducción de este proyecto, donde se realizó la identificación del problema, dado que la pandemia del *COVID19* dejó brechas en lo que respecta al componente práctico de las instituciones de educación en especial las de educación superior y en carreras como la de ingeniería en la que los estudiantes deben tener una excelente formación teórica pero que deben ser complementadas con las prácticas de laboratorio, situación que durante el proceso para así generar procesos de aprendizaje más integrales.

### 3.2 Paso 2: Selección del tema (Pregunta Guía)

Después de haber realizado un análisis del contexto, los recursos con los que se cuentan

tanto en infraestructura como en recurso humano entre otros factores, en el paso 1, se procede a realizar una pregunta guía que permite focalizar el tema a tratar para resolver el problema encontrado, en este caso se establece la siguiente:

*¿Cómo desarrollar nuevas formas de aprender a través de herramientas prácticas y laboratorios virtuales que promuevan en los estudiantes el crear e investigar, aprovechando el trabajo autónomo, las TICs y los recursos de infraestructura del campus universitario?*

Con esta pregunta guía entonces se tienen en cuenta los siguientes elementos:

- La Universidad Nacional De Colombia, Sede Manizales cuenta con un invernadero ubicado en el Bloque T que cuenta con una infraestructura de riego automático.



**Figura 3-3:** Invernadero y sistema de riego

- En el contexto de pandemia la virtualidad se convirtió en una herramienta indispensable. Además, los estudiantes son nativos digitales, pues nacieron en

medio del creciente avance de las tecnologías de la información y las comunicaciones por lo que, para ellos manejarlas, es natural.

- En sus casas, los estudiantes al no poderse reunir de forma presencial y de no estar físicamente en las aulas, tuvieron que generar mayor independencia y un trabajo más autónomo.

### **3.3 Paso 3: Definición del objetivo y selección del producto a desarrollar**

Dicho lo anterior en el paso 2, se selecciona como objetivo ***desarrollar un laboratorio virtual de un invernadero con prácticas de riego automático*** y aprovechándose de las TIC, incluido la realización de un curso mediado por la tecnología que cuente con videos asíncronos, guías, el uso de internet y de plataformas educativas, ***como un modelo de red distribuida educativa***.

### **3.4 Paso 4: Selección de plataforma educativa**

Debido a la apropiación que los estudiantes y profesores tuvieron durante el tiempo de confinamiento en las cuales aprendieron a utilizar *classroom*, se selecciona esta plataforma para realizar el curso de educación distribuida, en el cual se alojará toda la información multimedia. Adicional a ello, el curso está disponible en la plataforma de cursos masivos en línea y abiertos (MOOC) *Coursera*

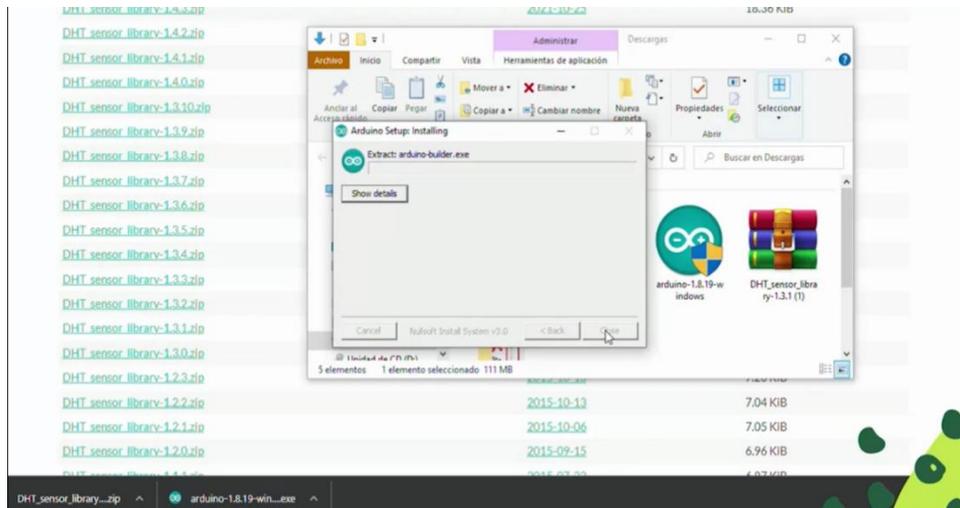
### **3.5 Paso 5: Diseño de curso y materiales de capacitación.**

Al haber superado el paso 4, se procede a realizar el diseño del curso y generar el contenido de videos utilizando aplicativos de grabación de pantalla como *Monosnap*, realizando la preparación de clase usando guiones de lo que se iba a decir en los videos, preparando el contenido como imágenes explicativas, preparación y prueba de códigos de programación en la plataforma Arduino IDE, realización de diagramas de conexión, elección de colores que se iban a manejar, audios de fondo entre otros que permitieran al estudiante que el video fuese atractivo, además teniendo especial énfasis en no superar más de 10 minutos en los videos porque según el neurocientífico Medina “El tiempo promedio de atención de los seres humanos es de alrededor de 10 minutos, al cabo de los cuales nos distraemos” (Medina, 2014).

Por lo tanto, el curso contó con:

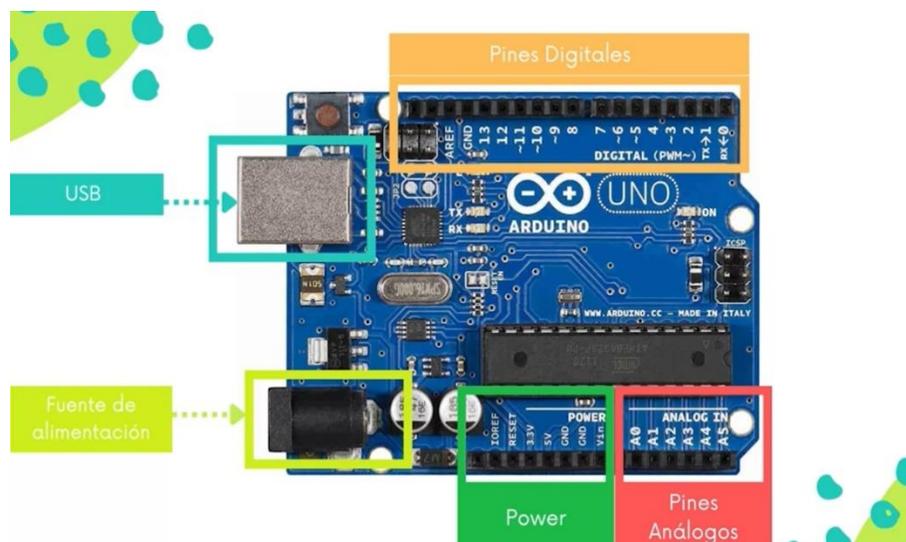
El **módulo 3 programación del invernadero**, con los siguientes contenidos

- **Video 1 ¿Cómo descargar e instalar Arduino IDE?** En este material audiovisual se realiza todo un proceso de enseñanza desde como buscar en Google, hasta como descargar e instalar el aplicativo, todo con el objetivo de hacer un material audiovisual que provea a los estudiantes una enseñanza integral.



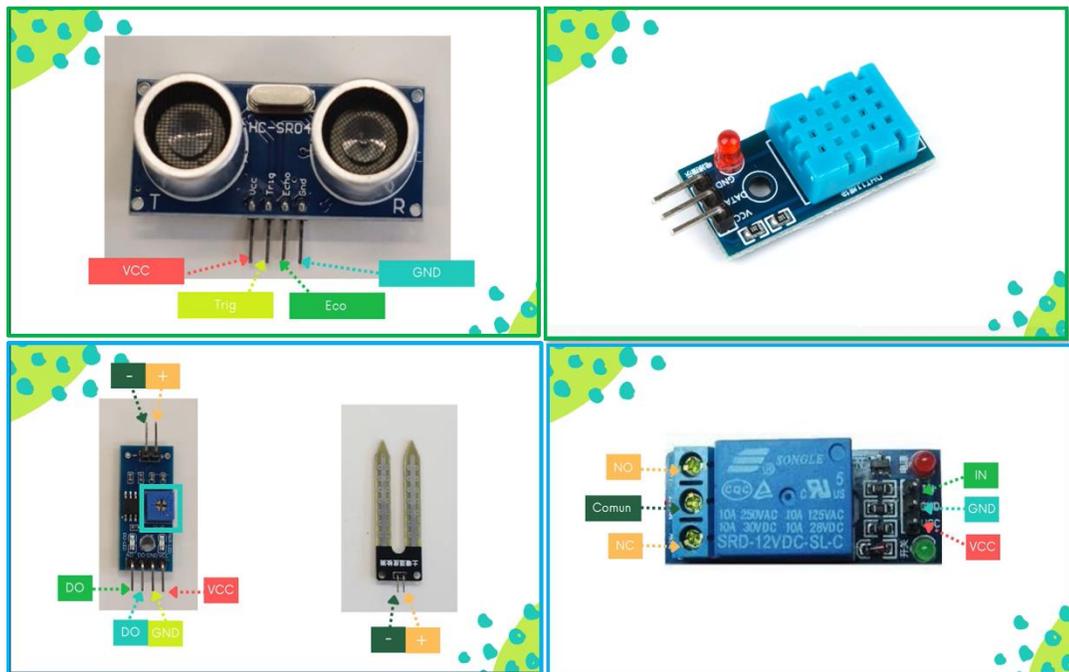
**Figura 3-4:** Video de enseñanza instalación Arduino IDE

- **Video 2 Conociendo los Sensores y actuadores para Arduino:** En este material audiovisual producido, se explica las principales partes que componen el sistema de riego, como funcionan y cada uno de los pines de los sensores y actuadores, con la finalidad que el estudiante comprenda la electrónica que lleva detrás el proyecto y maneje un vocabulario técnico, se realiza una serie contenido en imágenes que ayudan a captar la atención del estudiante. Se le realiza la explicación de cada parte con la que cuenta el microcontrolador.



**Figura 3-5:** Video Partes del microcontrolador Arduino

Las partes principales de los sensores y sus pines:



**Figura 3-6:** Partes de sensores y actuadores.

En los videos siguientes se realiza un proceso a paso explicando cada línea de código y comando, enseñándole al estudiante para que sirve y como se usa, además se va realizando el proyecto de forma escalonada programando por separado cada elemento, la electrobomba, el sensor de ultrasonido, el sensor de humedad relativa y finalmente como unificar ese código en 1, este módulo contiene los siguientes videos.

- Video 3: Programando la electrobomba.
- Video 4: Programando el sensor de ultrasonido.
- Video 5: Programando el sensor de humedad relativa y temperatura.
- Video 6: Unificando el código.

```

Sensor_u_Wuocoro3
// DISTRIBUCION
// DISTANCIA

void setup() {
  pinMode(TRIG, OUTPUT);
  pinMode(ECHO, INPUT); //
  pinMode(LED, OUTPUT);
  Serial.begin(9600);
}

void loop() {
  digitalWrite(TRIG, HIGH); //enviar un pulso(alto) de 1 mil segundo
  delay(1);
  digitalWrite(TRIG, LOW);
  unsigned long pulseIn(ECHO, HIGH); // tiempo que tarda en recibir el pulso
  DISTANCIA=CELESTION * pulseIn; // se convierte el valor de tiempo en distancia
  // para obtenerla en cm de la medida, se pone una constante dada por el fabricante del
  // sensor, por eso se divide en 58.2
  Serial.println(DISTANCIA); //envio de informacion (valor distancia a la computadora para ver informacion
  delay(200); // demora entre dato y dato
  if(DISTANCIA <= 20 || DISTANCIA >=4)
  {
    digitalWrite(LED, HIGH); // este será el indicador del detector de obstaculos
    delay(DISTANCIA*10); // demora proporcional a la distancia.
    digitalWrite(LED, LOW); //
  }
}

//Sensor_u_Wuocoro3_2
// DISTRIBUCION
// HUMEDAD
// BOMBA
// DISTANCIA

void setup() {
  pinMode(LED, OUTPUT);
  Serial.begin(9600); //Iniciacion sensor
  Serial.begin(9600); // Inicializacion sensor
  Serial.begin(9600); // Inicializacion sensor
}

void setupHumedad(INPUT); // se determina la humedad como ENTRADA
void setupBomba(OUTPUT); //se determina como salida SALIDA

void loop() {
  // put your main code here, to run repeatedly:
  DHT.read11(DHT11_PIN); //lee lo que envia el sensor

  //temperatura
  Serial.print("Temperatura = "); //leitura del sensor
  Serial.print(DHT.temperature); // valor de la temperatura
  Serial.println(" C"); // C de grados Celsius

  //Humedad relativa
  Serial.print ("Humedad = ");
  Serial.print (DHT.humidity);
  Serial.println(" %");
  delay(2000);

  digitalWrite(TRIG, HIGH); //enviar un pulso(alto) de 1 mil segundo
}

```

Figura 3-7: Proceso de programación y unificación del código

**El módulo 4 conexiones del invernadero:** este módulo se desarrolla y profundiza en lo teórico-práctico, pues se realizan esquemáticos circuitales para una mejor comprensión y a medida que se muestran se van realizando las conexiones, con el objetivo que el estudiante pueda aprender y replicar el experimento que consta del siguiente material multimedia:

- **Video 1 Conexión del higrómetro:** en este video se muestra paso a paso como se debe conectar el sensor de humedad del suelo, se le realizan esquemas didácticos que permiten una mejor comprensión a la vez que el audio va pasando y explicando en que pines se debe conectar, adicionalmente durante el video se les muestra la conexión de los equipos reales.

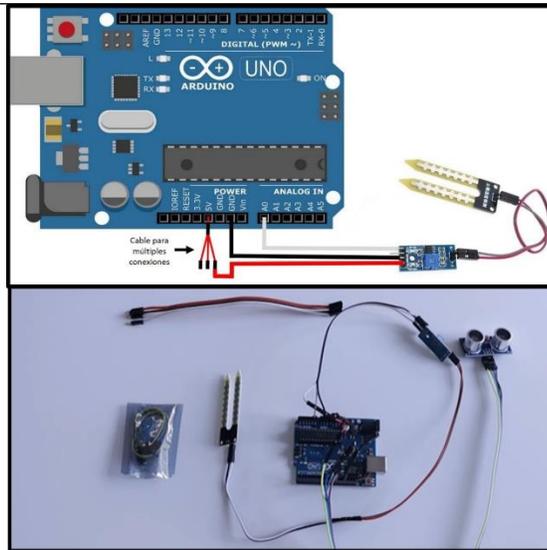


Figura 3-8: Conexión del higrómetro

- **Video 2 Conexión del Sensor de ultrasonido:** en este video se muestra paso a paso como se debe conectar el sensor de ultrasonido, se le realizan esquemas didácticos que permiten una mejor comprensión con el código de colores utilizado en el curso, adicionalmente durante el video se les muestra la conexión de los equipos reales.

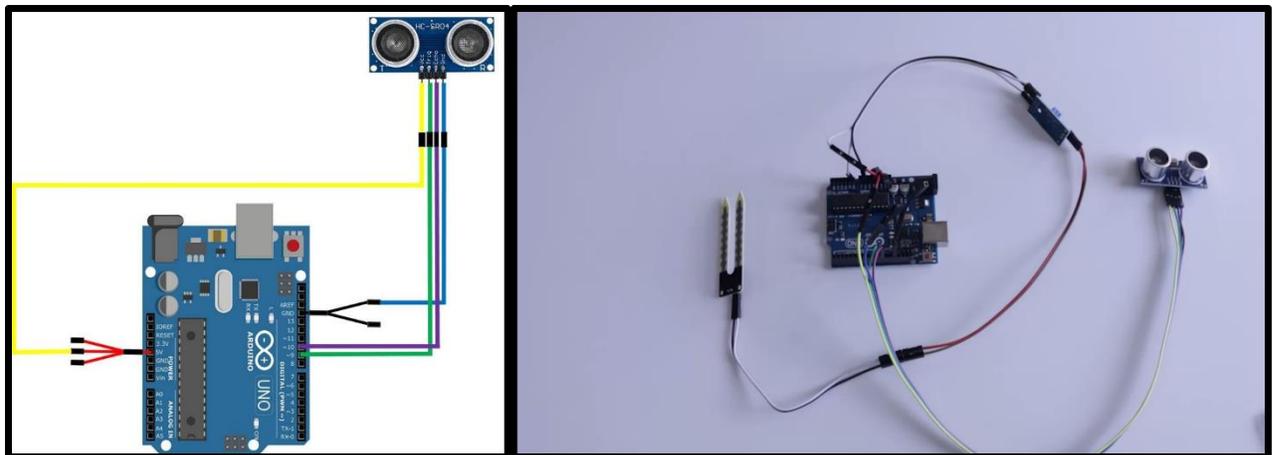


Figura 3-9: Conexión del sensor de ultrasonido

- **Video 3 Conexión del sensor de humedad:** En este video se muestra paso a paso como se debe conectar el sensor de humedad referencia DHT11, se le realizan esquemas didácticos que permiten una mejor comprensión con el código de colores utilizado en el curso, adicionalmente durante el video se les muestra la conexión de los equipos reales.

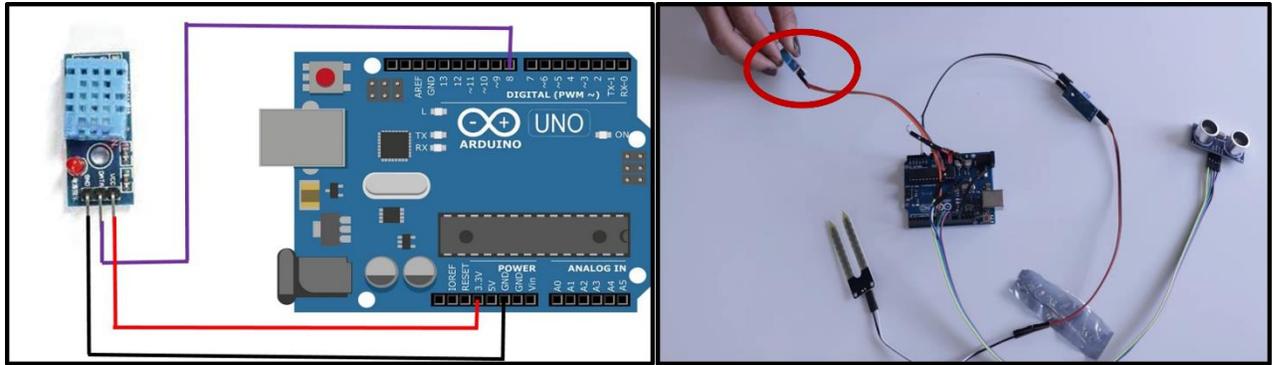


Figura 3-10: Conexión sensor DHT11

- Video 4 Conexión electrobomba:** En este video se muestra paso a paso como se debe conectar una electrobomba, se realizan esquemas didácticos que permiten una mejor comprensión con el código de colores utilizado en el curso, adicionalmente durante el video se les muestra la conexión de los equipos reales.

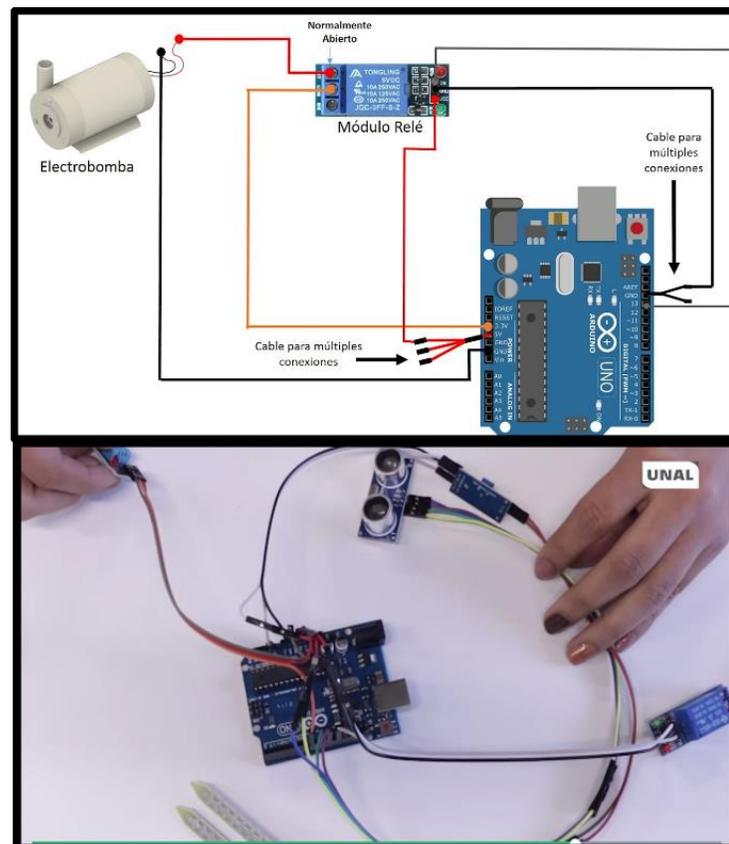
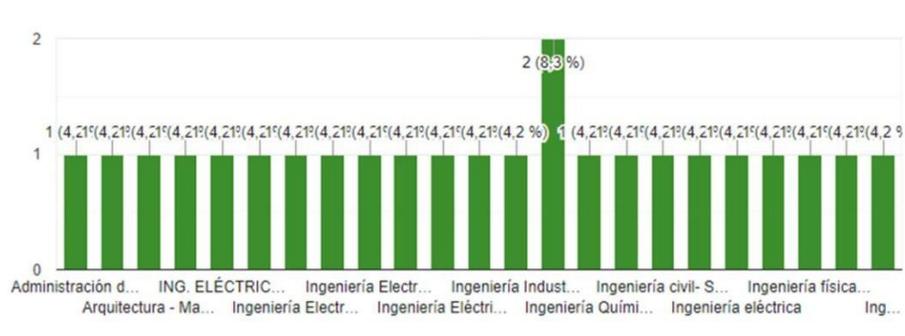


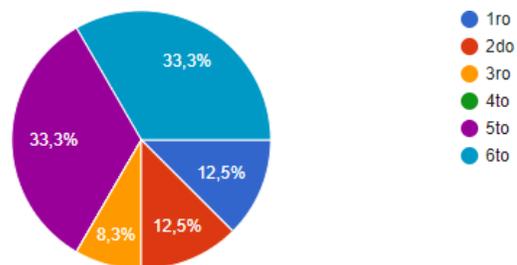
Figura 3-11: Conexión Electro bomba

### 3.6 Paso 6: Selección del público objetivo

Al tener seleccionado la plataforma de enseñanza, el diseño y los materiales audiovisuales listos, se realiza una convocatoria a través de correo institucional usando el *postmaster* institucional y otros medios de divulgación académicos como grupos de IEEE entre otros donde los estudiantes se encuestaron usando *Google forms* para hacer una selección, utilizando criterios de diversidad de carrera, diversidad de semestre, algún tipo de condición especial o vulnerabilidad social, gustos y preferencias entre otras preguntas abiertas para verificar el interés y el compromiso sobre el curso, a continuación se muestran los resultados obtenidos en la encuesta.



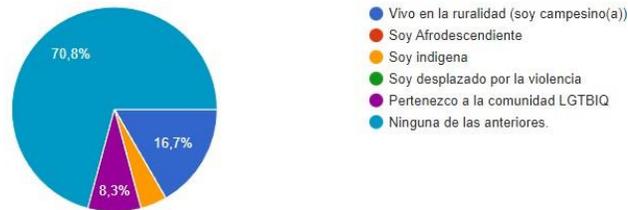
**Figura 3-12:** Carreras de los estudiantes que se inscribieron al curso



**Figura 3-13:** Semestre en los que iba cada estudiante inscrito

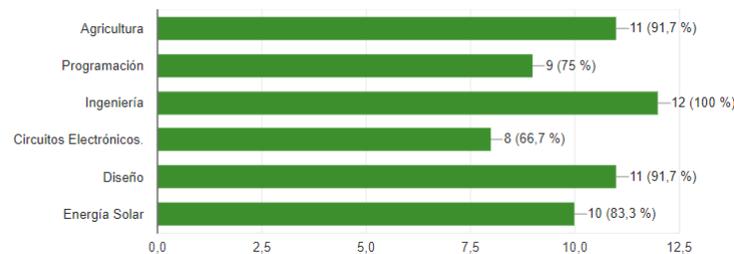
¿Pertenece a alguno de estos grupos?

24 respuestas



**Figura 3-14: Condición especial**

12 respuestas



**Figura 3-15: Gustos y afinidad con el proyecto**

## 3.7 Paso 7: Prueba piloto

### 3.7.1 Fase 1: Entrega de materiales

Finalmente, después de haber analizado la encuesta, se realizó una selección de 10 estudiantes a los cuales se les realizó la donación de 10 Kits de aprendizaje, los estudiantes ganadores obtuvieron un invernadero a escala con sistema de riego automático alimentado por energía solar el cual les sirvió como laboratorio de aprendizaje y pruebas en casa, para la programación de sistemas de riego automático.



**Figura 3-16: Kit completo**

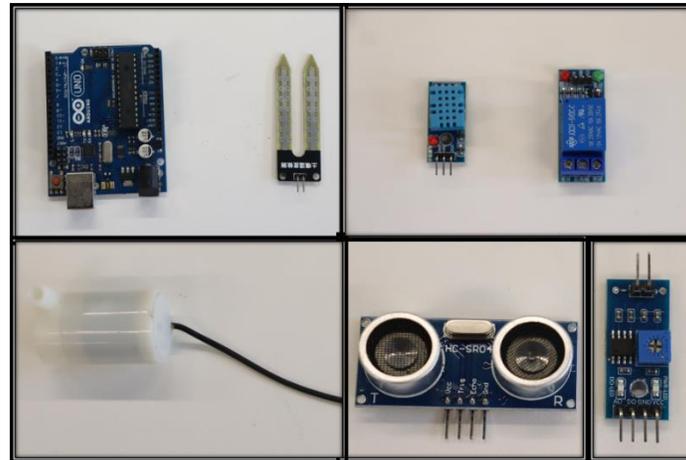


Figura 3-17: kit de sistema de riego (fotos)

### 3.7.2 Fase 2: Lanzamiento del curso

En este paso, se inicia convocando a todos los elegidos usando grupos de *WhatsApp* y correo electrónico a una reunión virtual por *Google Meet*, para realizar la introducción y presentación del curso, sus contenidos, los objetivos de los módulos y lo que obtendrán al finalizar el proceso.

A medida que el curso avanza con los estudiantes, se abren canales de comunicación para dudas o inquietudes cuando los estudiantes lo necesiten, lo que lo hace diferente a un curso subido en una página web, con solo contenido asíncrono, pues en éste se interactúa y se solucionan las dudas del estudiante creando ese puente estudiante-tutor.

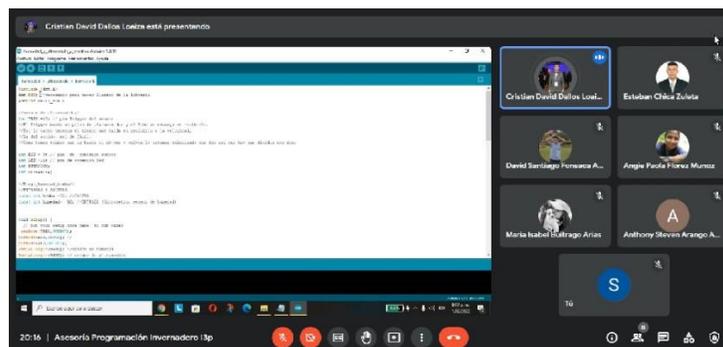


Figura 3-18: Asesoría a estudiantes por *Google Meet*

Así mismo, se va siguiendo el avance del curso realizando revisión de las entregas de las tareas propuestas en todas las etapas de programación, durante el proceso de enseñanza-aprendizaje, los estudiantes participaron realizando las tareas propuestas dentro de la plataforma como mostrar el código funcionando, mostrar los montajes que realizaban con el código y el funcionamiento del proyecto.

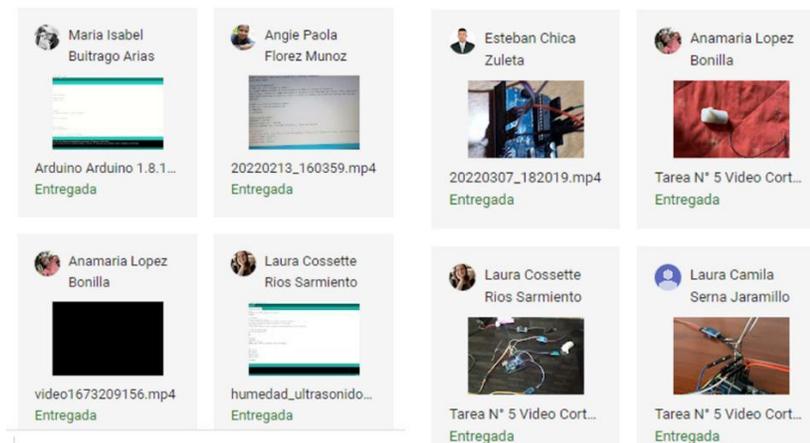


Figura 3-19: Evidencias tareas propuestas en la plataforma educativa.

### 3.8 Evaluación del proceso

Durante el proceso de pilotaje, en algunas ocasiones cuando los estudiantes lo solicitaban, se les daba asesoría de forma virtual, utilizando plataformas como *Google Meet*, donde se les explicaba en los temas que estuvieran teniendo algún tipo de complejidad, durante este proceso los estudiantes solicitaron solo una vez asesoría, lo que demuestra que el contenido multimedia subido en la plataforma fue preciso y claro para los estudiantes como se aprecia en la siguiente figura obtenido directamente de la encuesta que se les realizó a los estudiantes via *Google Forms*.

Los módulos me parecieron adecuados, contaba con la información suficiente para lograr el objetivo del invernadero y además resaltar que aparte de la información que subían al classroom si uno solicitaba ayuda particular siempre estaban puestos a resolverla y apoyar el proceso

Suficientes y de tiempo moderado, siento que con respecto a cortos o largos eso es relativo porque no todos teníamos conocimiento en eléctrica eléctrica electrónica por lo que cada paso por muy "intuitivo" que pareciese, era necesario

Fueron suficientes

El tiempo suficiente, claros y preciso.

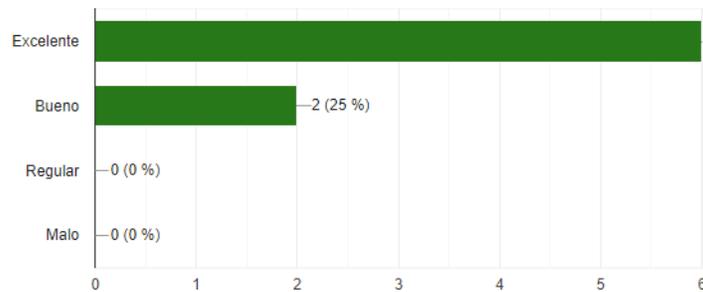
Suficientes.

Si, me pareció suficiente. Me hubiese gustado por ejemplo en cada sensor, colocar en qué otras aplicaciones se usa o como lo escogieron para el diseño pero es mas interesante propio .

Cortos y muy sustanciosos. En pocos minutos aprendíamos todo lo necesario

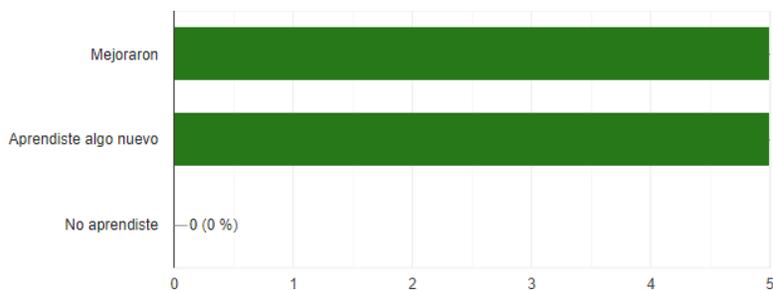
**Figura 3-20: :Encuesta a estudiantes**

Se evidenció que el curso en general a 6 de los 8 participantes le pareció excelente y a los 2 restantes les pareció bueno.



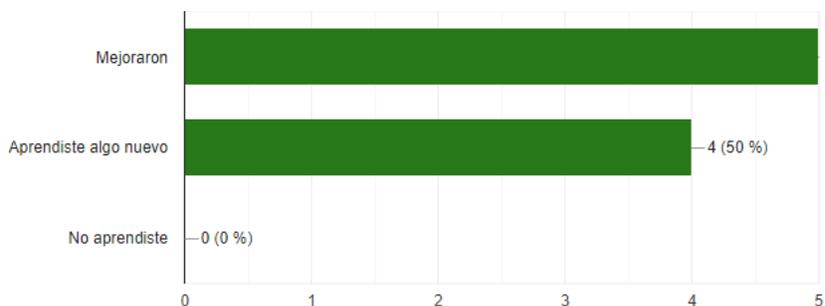
**Figura 3-21: : Encuesta de módulo de enseñanza**

Además, el 5 de los participantes aprendió algo nuevo y 5 mejoraron sus habilidades en la programación de Arduino.



**Figura 3-22:** Encuesta sobre conocimientos en Arduino

Análogamente, 5 de los participantes mejoraron sus conocimientos en la construcción y ensamble de sistemas de riego, el restante de los estudiantes, aprendieron algo nuevo.



**Figura 3-23:** Encuesta sobre aprendizaje en sistemas de riego

## 3.9 Productos obtenidos

### 3.9.1 Curso en Coursera

Derivado del proceso del proyecto de Maestría, realizando un convenio entre la Universidad Nacional De Colombia, Sede Manizales y Coursera se lanzó un curso en dicha plataforma denominado **Aprendizajes en Ingeniería y Agricultura con Arduino: Construcción y automatización de un invernadero**



**Figura 3-24:** Curso lanzado en la plataforma Coursera

El cual cuenta con un módulo de introducción

SEMANA

1



2 horas para completar

### Introducción

En este módulo no solo encontrará la presentación del curso que le permitirá entender el concepto de ingeniería y agricultura y como se relacionan entre ellas, sino también un glosario que podrá descargar y consultar.



1 video , 2 lecturas, 1 cuestionario [Mostrar menos](#)



1 video

Presentación: Quiénes somos y que aprenderás en el curso.



2 lecturas

Glosario.

Complementaria: Sistema de riego automatizado con Arduino

**Figura 3-25:** Módulo de introducción

En la semana 2 el estudiante aprenderá sobre los diferentes tipos de estructuras en las cuales se puede incluir un sistema de riego; además, se tendrá un ejemplo práctico de cómo armar y utilizar lo aprendido en una aplicación puntual como por ejemplo en el hogar o en un invernadero a escala. Este módulo consta de varios videos y material que guían sobre el proceso.

SEMANA



4 horas para completar

2

Tipos de estructuras y elementos necesarios para la puesta en funcionamiento de un sistema de riego automático.

En este módulo aprenderá sobre los diferentes tipos de estructuras en las cuales se puede incluir un sistema de riego; además, se tendrá un ejemplo práctico de cómo armar y utilizar lo aprendido en una aplicación puntual como por ejemplo en el hogar o en un invernadero a escala. Este módulo consta de varios videos y material que guían sobre el proceso.

3 videos , 4 lecturas, 2 cuestionarios [Mostrar menos](#)

3 videos

Tipos de estructuras en las que podemos usar nuestro sistema de riego

¿Cómo soldar cada elemento?

Armando el invernadero.



4 lecturas

Guía: Listado de materiales que se deben comprar para crear un kit y armar invernadero de madera.

Código de colores para Arduino.

Listado de materiales que se deben comprar para crear un kit de instalación del riego en casa.

**Figura 3-26:** Módulo de estructura y sistema de riego

En la semana 3 se realiza todo el proceso de programación con Arduino para automatizar el riego, se cuenta con 7 videos del proceso, 1 lectura y 2 cuestionarios. En este módulo se empieza desde lo básico se irá progresando con cada video, iniciaremos con la descarga e instalación del Arduino IDE, luego con conocimiento de la electrónica detrás del sistema de riego automático (sensores y actuadores) programación y explicación paso a paso de la electrobomba, sensor de ultrasonido, sensor de humedad relativa y temperatura, la unificación del código y posterior carga a la placa de Arduino.

SEMANA



3 horas para completar

3

Programación del invernadero.

En este módulo empezaremos desde lo básico he iremos progresando con cada video, iniciaremos con la descarga e instalación del Arduino IDE, luego con conocimiento de la electrónica detrás del sistema de riego automático (sensores y actuadores) programación y explicación paso a paso de la electrobomba, sensor de ultrasonido, sensor de humedad relativa y temperatura, la unificación del código y posterior carga a la placa de Arduino.

7 videos , 1 lectura, 2 cuestionarios [Ver todo](#)

**Figura 3-27:** Módulo de programación del invernadero

El contenido detallado de esta semana es el siguiente:

 **7 videos**

Sensores y actuadores para Arduino.

¿Cómo descargar e instalar Arduino?

Programando la electrobomba.

Programando el sensor de ultrasonido.

Programando el sensor de humedad relativa y temperatura.

Unificando el código

Bono: Demostración funcionamiento invernadero.

 **1 lectura**

Lectura complementaria: Sistema de instrumentación y monitoreo para el invernadero la Aldana de la universidad del Quindío.

 **2 ejercicios de práctica**

Repasemos lo que hasta el momento llevamos.

Cuestionario final semana 3.

**Figura 3-28:** Contenido módulo de programación

En la semana 4 se le enseñara la conexión de los diferentes sensores y actuadores que se utilizarán en el sistema de riego automatizado.

# 4

## Conexiones y aplicaciones.

En este módulo se le enseñará al estudiante a ensamblar un invernadero sustentable paso a paso en la estructura de madera prefabricada, esta estructura será donde se posicionarán los paneles solares, también aprenderán cuál es el funcionamiento de un sistema solar aislado, conexión de un sistema fotovoltaico y uso de la energía solar fotovoltaica en un

[Mostrar todo](#)



11 videos , 2 lecturas, 2 cuestionarios [Mostrar menos](#)

**Figura 3-29:** Módulo 4 conexiones y aplicaciones

¿Cómo conectar el higrómetro?

¿Cómo conectar el sensor de ultrasonido?

¿Cómo conectar el sensor de humedad relativa y temperatura?

¿Cómo conectar la electrobomba?

**Figura 3-30:** Contenido módulo 4

Desde el momento en que fue lanzado el curso, el 02 hasta el 20 de Julio, se han inscrito 107 personas, hay 47 estudiantes activos y el curso ha tenido una calificación de 4.7 de 5 entre los participantes

The screenshot shows the Coursera interface for a course. At the top, there are navigation links for 'Cursos', 'Programas especializados', 'Grupos', and 'Ayuda', along with a user profile for 'Cristian David Dall...'. The course title is 'Aprendizajes en Ingeniería y Agricultura con Arduino: Construcción y automatización de un invernadero' by instructor Paola Carmona Cast... The course is marked as 'Lanzado' (Launched) and was launched on July 2, 2022. The statistics shown are: 107 total enrollments, 47 active students, and a 1.9% completion rate. Below the course card, there is a 'Ratings' section with a text explanation and a comparison bar showing a course rating of 4.7/5 and a Coursera-wide average rating of 0.

Estadística	Valor
Inscripciones en total	107
Estudiantes activos	47
Índice de completación	1,9%

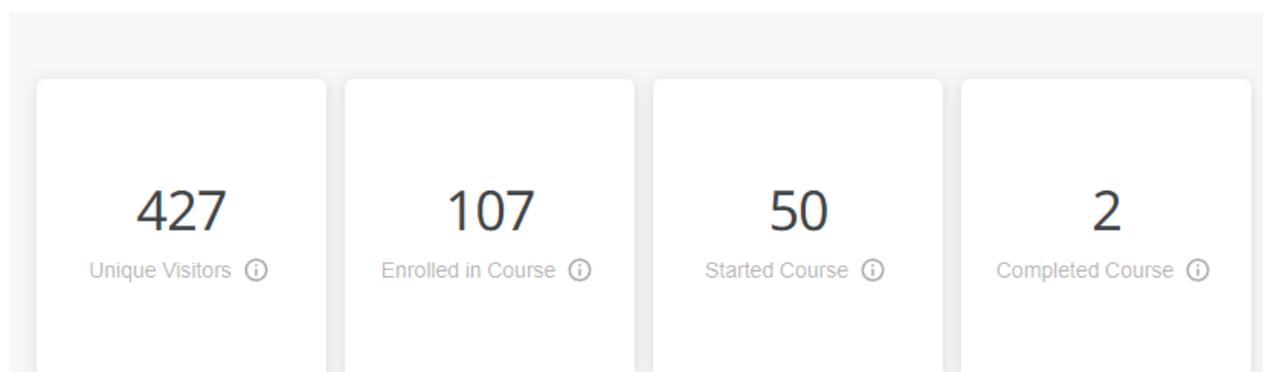
  

Ratings		
0	4.7 / 5 Average Star Rating: All Courses	0

Powered by Looker

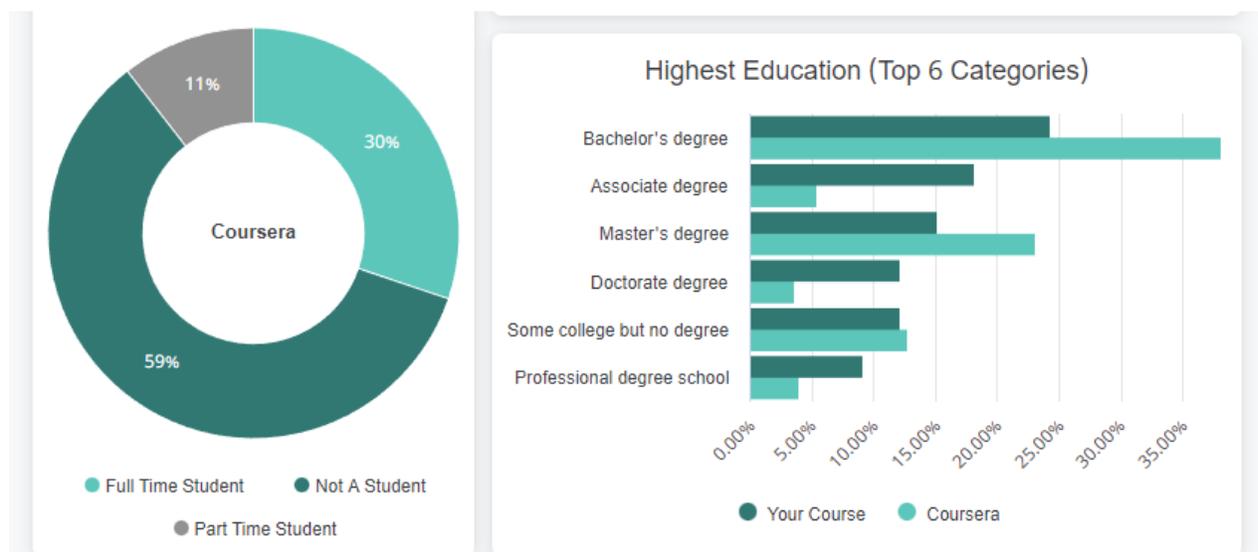
**Figura 3-31:** Calificación global del curso por parte de los inscritos

Se puede apreciar que ha tenido una visualización de 427 personas, y que están cursando 50 y que 2 han culminado en el proceso con certificación.



**Figura 3-32:** Estadísticas del curso

Cabe destacar que el curso en comparación con el piloto realizado en la plataforma Class room fue realizado para estudiantes de pregrado, en Coursera el público que está interactuando y participando en el curso para en todos los niveles educativos como se puede apreciar en la estadística que ofrece Coursera.



**Figura 3-33:** Interacción por nivel educativo.

Además de ello el curso se ha extendido a la visualización a los 5 continentes como se aprecia en la siguiente figura

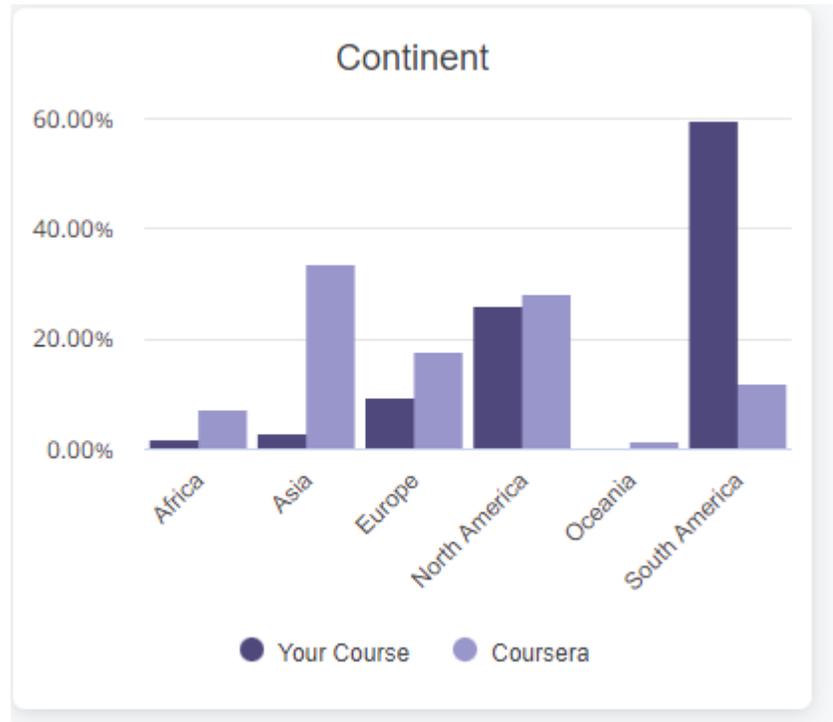


Figura 3-34: Interacción geográfica del curso

## 4. Conclusiones y recomendaciones

### 4.1 Conclusiones

- Con el presente trabajo en donde se logró desarrollar un laboratorio virtual de un invernadero con prácticas de riego automático y donde derivó en proponer un modelo de educación distribuida usando plataformas educativas, para la puesta en marcha y evaluación de laboratorios virtuales, se concluyó que con la metodología de aprendizaje basado en proyectos, se logró recaudar recursos para la donación de kits que derivó en un impacto en estudiantes de diferentes carreras, ya que se tenía un grupo interdisciplinar 3 pertenecían a ingeniería electrónica, 3 a ingeniería química, 1 a ingeniería eléctrica, 1 a ingeniería civil, el 1 a Arquitectura y 1 a ingeniería industrial y que en el curso en general a 6 de los 8 participantes que respondieron la encuesta, le pareció excelente y a los 2 restantes les pareció bueno. Además 5 de los participantes aprendieron algo nuevo y 5 mejoraron sus

habilidades en la programación de Arduino. De igual forma, 5 de los participantes mejoraron sus conocimientos en la construcción y ensamble de sistemas de riego y 5 de los estudiantes, aprendieron algo nuevo en esta área.

- Se concluye que el modelo *de red basado en servidor web*, usando plataformas robustas de Google y Coursera de la Universidad de Stanford, permite que los contenidos multimedia sean escalables, replicables, además de permitir aprovechar las interfaces con las cuales cuenta dichas plataformas para realizar un análisis de alcance e impacto del contenido sobre el aprendizaje. Por otro lado, el uso de estas plataformas ya creadas permite que se enfoque en la innovación pedagógica y no en la infraestructura tecnológica que es muchas veces donde se quedan los proyectos de innovación educativa con muchas herramientas tecnológicas pero que no impactan al estudiante directamente en su conocimiento.
- Se concluye además que la metodología encamina a los estudiantes en un proceso secuencial partiendo de un problema real, el cual reta e incentiva a comprometerse con la solución lo que deriva en acciones que conllevan a un proceso experimental donde el estudiante reflexiona y aprende, para realizar una conceptualización de la temática tratada generando habilidades en los involucrados como son autoaprendizaje, trabajo autónomo y compromiso con su propio aprendizaje
- El proceso pedagógico llevado a cabo en este proyecto ayudó a mitigar los vacíos en conocimientos que derivaron de la falta de práctica durante la emergencia sanitaria COVID19, además, la mezcla entre un modelo físico para experimentar y uno virtual, usando tecnologías de la información y las comunicaciones para tal fin, como un modelo educativo distribuido por medio del uso de las infraestructuras tecnológicas educativas es una buena opción

## 4.2 Recomendaciones

Se sugiere que aunque ya se haya retornado a las aulas, este modelo educativo virtual puede ser aplicado como complemento a la educación presencial permitiendo así generar un mayor impacto en la enseñanza de los estudiantes en carreras no afines a la ingeniería dando así como resultado una construcción colectiva de conocimiento con un grupo de trabajo estudiantes interdisciplinar que permita generar procesos de innovación dentro de las carreras de ingeniería eléctrica y electrónica y fortalecer los procesos investigativos de la Universidad. Sin embargo, es importante ampliar el alcance del módulo, hacia disciplinas en ciencias sociales a razón de evaluar el impacto sobre la comunidad. Dicho lo anterior, también el aprovechamiento de plataformas robustas creadas por terceros (Google y Coursera) permite enfocar todos los esfuerzos en el proceso pedagógico y no en el proceso de desarrollo de una plataforma de aprendizaje, dando así como resultados disminución de tiempo y costos a la hora de implementar proyectos de educación virtual.

## Bibliografía

Brown, Ann L., Ash, Doris, Rutherford, Martha, Nakagawa, Kathryn, Gordon, Ann, and Campione, Joseph C. 1993. "Distributed Expertise in the Classroom." In *Distributed Cognitions: Psychological and Educational Considerations*. Cambridge, UK: Cambridge University Press. pp. 190-1, 201-4.

Balamuralithara, B., & Woods, P. C. (2012). An investigation on adoption of the engineering simulation lab exercise: A case study in Multimedia University, Malaysia. *Computer Applications in Engineering Education*, 20(2), 339–345. <https://doi.org/10.1002/cae.20400>

Baena, F., Guarín, A., Mora, J., Sauza, J., Retat, S. (2017). Learning Factory: The Path to Industry 4.0. *Procedia Manufacturing* (9), 73-80.

Berruti, L., Davoli, F., Zappatore, S., Massei, G., Scarpiello, A. (2008). Remote Laboratory Experiments in a Virtual Immersive Learning Environment. *Adv. in MM.* 2008. 10.1155/2008/426981.

Castañeda Rodríguez, K. D., & Vargas Jaimes, A. M. (2021). En tiempos de pandemia: una mirada retrospectiva sobre la educación a distancia, virtual y remota de emergencia, así como sobre las buenas prácticas docentes. *Academia Y Virtualidad*, 14(1), 13-22. <https://doi.org/10.18359/ravi.5346>

CEPAL-UNESCO (2020). La educación en tiempos de la pandemia de COVID-19

Chan, C., Fok, W. (2009). Evaluating Learning Experiences in Virtual Laboratory training through student perceptions: A case study in Electrical and Electronic Engineering at the University of Honk Kong. *Engineering Education*. 10.11120/ened.2009.04020070.

Duart, J.M. Gil, M. Pujol, M. Castaño, J. (2008). La universidad en la sociedad red. Barcelona: UOC Ariel. 1.<sup>a</sup> ed

Osorio-Gómez, L. A., & Duart, J. M. (2011). Interaction analysis in hybrid learning environment. *Comunicar*, 19(37), 65–72. <https://doi.org/10.3916/c37-2011-02-06>

E Barberá.(2013) Educación abierta y a distancia

Flick, L., & Bell, R. (2000). Preparing tomorrow's science teachers to use technology: Guidelines for science educators. *Contemporary issues in technology and teacher education*, 1(1), 39–60.

Frank, J. A., & Kapila, V. (2017). Mixed-Reality Learning Environments: Integrating Mobile Interfaces with Laboratory Test-Beds. *Computers & Education*, 110, 88-104. <https://doi.org/10.1016/j.compedu.2017.02.009>

García, A. (2002). *La educación a distancia. De la teoría a la práctica*. Barcelona: Ed. Ariel.

Gardner, H. (1995) *Inteligencias múltiples: la teoría en la práctica*. Barcelona: Paidó

H. Babateen, "The role of virtual laboratories in science education.," in *International Proceedings of Computer Science and Information Technology*, 12, 2011. Presentation "FOUNDATION Fieldbus Technology Engineering Advantages

H. Keller and E. Keller, "Making real virtual laboratories," *The Science Education Review*, CA, USA, 4(1), pp. 2-11, 2005.

Jong, T., Linn, M. C., & Zacharia, Z. C. (2013). "Physical and virtual laboratories in science and engineering education". *Science* (New York, N.Y.), 340(6130), 305–308. <https://doi.org/10.1126/science.1230579>

José A. Marti Universidad EAFIT, Heydrich, M., Rojas, M., & Hernández, A. (2010). Aprendizaje basado en proyectos: una experiencia de innovación docente. *Revista universidad EAFIT*, 46(158), 11–21. <https://publicaciones.eafit.edu.co/index.php/revista-universidad-eafit/article/view/743>

Medina, J. (2014). *Brain Rules*. (2° ed ed). Pear Press.

Ministerio de educación Nacional (2020) "Conozca los criterios para la entrega de más de 83 mil computadores a estudiantes de 750 sedes educativas de colegios públicos en Colombia"[https://www.mineduccion.gov.co/1759/w3-article-397011.html?\\_noredirect=1](https://www.mineduccion.gov.co/1759/w3-article-397011.html?_noredirect=1)

M. A. Brackett, J. D. Mayer, R. M Warner. (2004). "Emotional intelligence and its relation to everyday behaviour *Personality and Individual differences*", 36: 1387-1402,

M. Budhu, "Virtual laboratories for engineering education," *International Conference on Engineering Education*, vol. 1, p. 334, 2000.

M. Stefanovic, "The objectives, architectures and effects of distance learning laboratories for industrial engineering education," *Computers and Education*, 69, pp. 250-262, 2013.

Nuhoglu., Strang D. "La construcción de los primeros sistemas de educación de masas en la Europa del siglo XIX," *Sociología de la Educación* (1989) 62 # 4 pp. 277-288 en JSTOR

Osorio Gómez, L.A.(2010).Características de los ambientes híbridos de aprendizaje: estudio de caso de un programa de posgrado de la Universidad de los Andes.RUSC. *Universities and Knowledge Society Journal*, vol. 7, núm. 1, 2010, pp. 1-9 Universitat Oberta de Catalunya Barcelona, España

Olvera, D. M. C., Games, F. J. G., Barragán, Y. M. M., Cruz, E. I., & Cortés, E. A. (2019). Educación 4.0: origen para su fundamentación. *Edunovatic 2019 conference proceedings: 4th Virtual International Conference on Education, Innovation and ICT*: 18-19

Praveen Balda et al, *International Journal of Computer Science and Mobile Computing*, Vol.4 Issue.4, April- 2015, pg. 761-767

Subirà, M. P.-M., & Catasús, M. G. i. (2014). Aprender y enseñar en línea. El docente en línea: aprender colaborando en la red, 21–48.

Sukhodolov, Y. A. (2019). The Notion, essence and peculiarities of Industry 4.0 as a sphere of industry. In: Popkova, E. G. et al. (2019). Industry 4.0: industrial revolution of the 21st century. Warsaw, Poland: Springer.

Triana Ortiz, K. N., Herrera Muñoz, D. C., & Mesa Mendoza, W. N. (2020). Importancia de los laboratorios remotos y virtuales en la educación superior. Documentos De Trabajo ECBTI, 1(1). <https://doi.org/10.22490/ECBTI.3976>

Gil Vazquez, P., Alberto Jara, C., Puente Méndez, S. T., Candelas Herías, F. A., & Torres Medina, F. (2012). Recursos y herramientas didácticas para el aprendizaje de la robótica. *Education in the Knowledge Society (EKS)*, 13(2), 18–47.  
<https://doi.org/10.14201/eks.8998>

Vasquez, J. A., Comer, M., & Sneider, C. (2013). Stem lesson essentials, grades 3-8: Integrating science, technology, engineering, and mathematics. Heinemann Educational Books.

















