



UNIVERSIDAD
NACIONAL
DE COLOMBIA

Evaluación del efecto de un laboratorio híbrido en el aprendizaje de un Lenguaje de Descripción de Hardware (HDL)

Father Alexander Rodriguez Pinto

Universidad Nacional de Colombia
Facultad de Ingeniería
Departamento de Ingeniería Eléctrica y Electrónica
Bogotá, Colombia
2024

Evaluación del efecto de un laboratorio híbrido en el aprendizaje de un Lenguaje de Descripción de Hardware (HDL)

Father Alexander Rodriguez Pinto

Tesis presentada como requisito parcial para optar al título de:
Magíster en Ingeniería - Automatización Industrial

Director:

Jhon Jairo Ramírez Echeverry, Ph.D.

Codirector:

Felipe Restrepo Calle, Ph.D.

Línea de Investigación:

Educación en ingeniería

Grupo de Investigación:

Programming Languages and Systems - PLaS

Universidad Nacional de Colombia

Facultad de Ingeniería

Departamento de Ingeniería Eléctrica y Electrónica

Bogotá, Colombia

2024

Agradezco al buen Dios por sostenerme y acompañarme este tiempo. Su guía, consuelos y compañía en los acontecimientos diarios fueron importantes para continuar la tarea. A la Virgen que me ayudó a confiar y perseverar en este trayecto particular.

A mis padres, Dimas y Elvira, por su presencia, comprensión, y ánimo paciente en el proceso de realización de este trabajo. A mi hermano, Oswaldo, por sus apuntes espontáneos que sacaron una sonrisa en varios momentos durante el proceso.

A las personas cuya cercanía con sus palabras, oraciones y apoyo constituyeron un importante soporte para motivar e impulsar mi tarea en este tiempo.

Agradecimientos

Quiero agradecer de manera particular a mi Director Jhon Jairo Ramírez Echeverry Ph.D y a mi Co-Director Felipe Restrepo Calle, Ph.D. por su paciencia en el proceso de evolución personal y desarrollo de este trabajo. Sus sugerencias y aportes fueron muy valiosos y motivadores para avanzar en el proceso y persistir en la realización del trabajo. La buena disposición para resolver las inquietudes y disponer del tiempo necesario para las reuniones fueron cruciales a lo largo del trayecto recorrido en esta tarea. Agradezco también las sesiones en las que fue posible realizar el acompañamiento con el grupo de investigación PLaS, así como los aportes generados en estos espacios.

De igual manera agradezco a Programa de Becas Asistentes Docentes, de la sede Bogotá, por la oportunidad brindada. Me permitió conocer y adquirir experiencia en el área de la docencia. También quiero agradecer a la Facultad de ingeniería y en particular, al Departamento de Ingeniería Eléctrica y Electrónica por su apoyo para la consecución de este logro.

A todas las personas que influyeron de alguna forma, a través de alguna palabra o cualquier otro gesto de ayuda, en la realización de este trabajo.

Resumen

Evaluación del efecto de un laboratorio híbrido en el aprendizaje de un Lenguaje de Descripción de Hardware (HDL)

Las iniciativas para mejorar el aprendizaje de los estudiantes han ido en aumento gracias a los avances en las telecomunicaciones y una mayor presencia de equipo de cómputo en los contextos educativos. Entre estas iniciativas se encuentran los laboratorios remotos que permiten la experimentación a distancia. En la misma línea se encuentran los laboratorios híbridos, que pueden agrupar tanto elementos remotos como virtuales o presenciales. El aprendizaje requiere que estas herramientas puedan ser efectivas a un alto nivel. De esta forma, pueden contribuir a motivar a los estudiantes para aprender y generar un flujo positivo en sus calificaciones y recompensas académicas. En electrónica digital, el aprendizaje de los lenguajes de descripción de hardware es de especial interés en el desarrollo de habilidades prácticas en la creación e implementación de circuitos electrónicos digitales. No obstante, se presentan desafíos para los estudiantes, docentes e instituciones. El aprendizaje requiere de estrategias, métodos y herramientas bien pensadas para atender y superar estos desafíos. Por esta razón, las iniciativas de laboratorios para atender a la parte práctica de una asignatura deben ser acompañadas por evidencia empírica para establecer las estrategias y formas de incorporar su funcionalidad en el contexto académico.

La revisión de literatura presentó varias iniciativas de laboratorios remotos e híbridos, las cuales han sido generalmente bien recibidas por los estudiantes. En diversos casos, sus percepciones han permitido reconocer los beneficios y bondades que les han generado las nuevas iniciativas para la práctica de laboratorio. A pesar de ello, se encuentran pocos trabajos de validación de estas iniciativas desde el ámbito educativo. En otros casos, los instrumentos utilizados no están estandarizados o simplemente no han sido aplicados. En variables como la motivación por aprender, la evidencia acerca de iniciativas de laboratorios remotos es escasa y aún más para los de tipo híbrido. De esta manera, algunos autores enfatizan la necesidad de realizar más investigación involucrando distintas iniciativas de laboratorios, con el fin de encontrar sus efectos en diversas variables. Con la disponibilidad de mayor evidencia, se podrían tomar mejores decisiones acerca de los componentes de laboratorio práctico para asignaturas relacionadas con electrónica digital que involucren la práctica con un lenguaje de descripción de hardware.

A partir de lo expuesto, este trabajo busca aportar evidencia acerca de los efectos en el rendimiento y la motivación en el aprendizaje de un HDL para una asignatura de electrónica digital. Para este propósito, se desplegó un laboratorio híbrido que reúne las modalidades remota y tradicional (Hands-On). El despliegue se realizó bajo una intervención educativa diseñada previamente como un estudio cuasi-experimental. Se trabajó con dos grupos, uno experimental y uno de control. En este proceso, se escogió un laboratorio remoto que, junto a la modalidad tradicional usualmente manejada,

se constituyó como un laboratorio híbrido destinado a ser implementado en el grupo experimental. Mientras tanto, el grupo control se mantuvo bajo la modalidad tradicional. Se caracterizó la motivación por aprender gracias a la aplicación de cuestionarios del MSLQ-Colombia, al inicio y al final de la experiencia. Además, se llevó a cabo una encuesta de percepción y se recolectaron las notas de los informes de laboratorio entregados por los estudiantes. Estas acciones de recolección permitieron extraer datos acerca de la motivación y el rendimiento, así como las opiniones y percepciones acerca de la experiencia y las herramientas en detalle.

El análisis de la información recolectada se llevó a cabo usando métodos estadísticos para verificar las variaciones en la motivación y el rendimiento. Los datos cuantitativos no arrojaron efectos significativamente positivos en la motivación o el rendimiento. El enfoque cualitativo permitió encontrar hallazgos importantes a partir de la percepción de los estudiantes. Se reportaron beneficios para el trabajo autónomo, buenas expectativas de rendimiento y disminución en niveles de ansiedad gracias a una mejor confianza en la experimentación del laboratorio. Estas son evidencias que pueden ser valoradas de forma positiva para establecer nuevas iniciativas de laboratorios híbridos que apunten al aprendizaje efectivo de lenguajes de descripción de hardware (HDL).

Palabras clave: HDL, descripción de hardware, verilog, laboratorio híbrido, modalidad de laboratorio, motivación en el aprendizaje, rendimiento académico.

Abstract

Evaluation of the effects of a hybrid laboratory on the learning of a hardware description language (HDL)

Initiatives to improve students' learning have been increasing thanks to advances in telecommunications and the broader presence of computers in educational contexts. One of them is the Remote laboratory that allows students better access to experimentation from a distance. In the same way are hybrid laboratories, which can combine virtual, remote, and hands-on elements. Learning requires these tools to have a good level of proven effectiveness. Therefore, they can contribute to motivating students' learning and lead them to obtain better grades and academic rewards. About digital electronics, learning a language description hardware (HDL) is of particular interest in the development of practical skills for creating and implementing digital circuits. However, there are still challenges for students, teachers and educational institutions. Learning requires novel and well-thought strategies, methods, and tools tuned to overcome these challenges. As a consequence, new laboratory initiatives thought to address the practical component of a subject should be supported by empirical evidence to establish strategies and ways to integrate their functionality into the academic context.

The literature review has revealed various initiatives involving remote and hybrid laboratories, generally well-received by students. In some cases, students' perceptions have allowed the recognition of the benefits and advantages that the new laboratory initiatives have generated for them. Despite this, the review identified a limited number of studies with findings validated from an educational perspective. In other cases, the measurement instruments employed were either not standardized or not applied at all. In variables such as motivation learning, evidence regarding laboratory initiatives is scarce and even more so for hybrid ones. Consequently, some of the authors emphasize the need to conduct further research involving diverse laboratory initiatives to understand their effects on various variables. If more evidence were made available, better decisions could be made about practical components of subjects associated with digital electronics that involve practice with hardware description languages.

Based on the information presented, this work aims to provide evidence about the effects on variables such as academic achievement and motivation in learning an HDL within the context of a digital electronics subject. For this purpose, a hybrid laboratory integrating both remote and in-person (hands-on) modalities was implemented. This initiative was part of an educational intervention previously designed and structured as a quasi-experimental study. Two groups were involved, one designated as the control group and the other as the experimental group. Next, a selection process of a remote laboratory was conducted so, put together with the traditional modality (hands-on), a hybrid laboratory

could be established. This hybrid laboratory was available only for the experimental group. Meanwhile, the control group continued with the traditional modality. Motivation learning was assessed using the MSLQ-Colombia instrument, both at the beginning and conclusion of the intervention. Also, a survey of perceptions was administered and the grades of laboratory assignments were collected as well. This data collection allowed the extraction of information regarding motivation and achievement, as well as opinions and perceptions about the tools in detail and the experience as a whole.

The analysis of the collected information relied on statistical methods to assess significant effects on motivation and achievement. Quantitative data did not reveal any significant positive effects on these variables. From the qualitative approach, there were important findings based on students' perceptions. Among the reported benefits were better autonomous work, good expectancy for success and lower levels of anxiety thanks to an enhanced trust in laboratory experimentation. These pieces of evidence could be useful to establish new initiatives of hybrid laboratories aimed at the effective learning of hardware description languages.

Keywords: HDL, hardware description, verilog, hybrid laboratory, laboratory type, learning motivation, academic achievement.

Esta tesis de maestría se sustentó el XX de XXXXXX de 2024
a las XX:00 am, y fue evaluada por los siguientes jurados:

Jurado 1, Ph.D.
Universidad ...

Jurado 2, Ph.D.
Universidad ...

Contenido

Resumen	VII
Abstract	IX
Lista de Figuras	XV
Lista de Tablas	XVII
1. Introducción	1
1.1. Motivación	1
1.2. Trabajos relacionados	4
1.3. Identificación del problema	6
1.4. Objetivos	8
1.4.1. Objetivo general	8
1.4.2. Objetivos específicos	8
1.5. Estructura de la tesis	8
2. Marco conceptual y trabajos relacionados	10
2.1. Motivación en el aprendizaje	10
2.2. Rendimiento académico	14
2.3. Laboratorios para el aprendizaje	18
2.3.1. Laboratorios tradicionales (TL) o Hands-On (HO)	20
2.3.2. Laboratorios no tradicionales (NTL)	21
2.3.3. Consideraciones sobre la efectividad de las modalidades de laboratorio	26
2.3.4. Importancia de los laboratorios en el ámbito STEM	30
2.3.5. El laboratorio en electrónica digital	32
2.4. Trabajos relacionados	34
3. Comparativo y selección de un laboratorio remoto	41
3.1. Búsqueda de laboratorios remotos (LRs)	41
3.1.1. Parámetros iniciales	42
3.1.2. Ajuste de ecuaciones de búsqueda	42
3.1.3. Resultados de la búsqueda	45

3.2.	Selección de un laboratorio remoto LR	47
3.2.1.	Preselección de laboratorios remotos	47
3.2.2.	Elección de laboratorio remoto	53
3.3.	Laboratorio remoto seleccionado: Labsland	56
4.	Diseño de la intervención educativa	62
4.1.	Laboratorio tradicional para electrónica digital 1	62
4.1.1.	Enfoque general	62
4.1.2.	Enfoque usual de prácticas de laboratorio	64
4.1.3.	Recursos de la modalidad HO	65
4.2.	Conformación del laboratorio híbrido (LH): combinación HO + LR	66
4.2.1.	Posibilidades del LR de Labsland para abarcar la temática del laboratorio HO de la UNAL	67
4.2.2.	Esquema de prácticas a realizar en el laboratorio híbrido (LH)	69
4.2.3.	Estructura de la práctica (HO y LR)	71
4.3.	Metodología de la intervención educativa	72
4.3.1.	Intervención educativa mediante un tipo de estudio cuasi-experimental	72
4.3.2.	Procedimiento para la intervención educativa	73
4.3.3.	Cronograma de actividades	76
4.3.4.	Participantes	78
4.3.5.	Instrumentos de recolección de datos	79
5.	Resultados de la implementación de la intervención educativa	86
5.1.	Uso de las modalidades del laboratorio híbrido	86
5.2.	Motivación en el aprendizaje	90
5.2.1.	Grupo Control (GC) - Electrónica Digital 1	90
5.2.2.	Grupo Experimental (GE) - Electrónica Digital 1	94
5.3.	Rendimiento académico	97
5.3.1.	Notas de informes	98
5.3.2.	Scripts de Verilog	99
5.4.	Percepciones de los estudiantes	101
5.4.1.	Tema: Motivación por aprender	102
5.4.2.	Tema: Beneficios emergentes del laboratorio híbrido (HO y LR)	107
5.4.3.	Elementos de preferencia en el laboratorio híbrido (LH)	113
6.	Análisis y discusión de resultados	115
6.1.	Motivación por aprender	115
6.2.	Rendimiento académico en el laboratorio	118
6.3.	Categorías emergentes	119

7. Conclusiones y trabajos futuros	124
7.1. Conclusiones	124
7.2. Publicaciones	125
7.3. Trabajos futuros	126
A. Anexo: Ítems del instrumento MSLQ-Colombia	127
Bibliografía	130

Lista de Figuras

- 3-1. Ejemplo tomado de un curso ofrecido desde *www.vicilogic.com* 50
- 3-2. Interfaz gráfica desplegada en el laboratorio remoto del proyecto E2LP. Muestra los periféricos disponibles de forma virtual, cuya respuesta es tomada de la tarjeta FPGA remota en físico. 51
- 3-3. Interfaz gráfica desplegada en el laboratorio remoto FPGA Vision. Cuenta con la facilidad de aplicar a las imágenes diferentes algoritmos implementados en FPGA. Tomada de <https://www.h-brs.de/de/remote-lab-info> 52
- 3-4. Labsland: gestión de grupos de trabajo y su acceso a uno o varios laboratorios. Tomada de <https://labsland.com/es> 57
- 3-5. Labsland: integración de grupos de estudiantes a través de LMS. Tomada de <https://labsland.com/es> 57
- 3-6. Labsland: visualización de estadísticas de acceso y uso para distintos grupos. Tomada de <https://labsland.com/es/about> 58
- 3-7. Editor de código HDL en Labsland. Abajo se observa la consola donde se observa el proceso de síntesis y el despliegue de errores y advertencias. Tomada de <https://labsland.com/es/labs/fpga-de2-115> 59
- 3-8. Diagrama de periféricos dispuestos en uno de los laboratorios remotos con FPGA de Labsland. 60
- 3-9. Interfaz de Labsland donde se observa el comportamiento de una FPGA a través de una cámara, en tiempo real. 60

- 4-1. Entorno de trabajo típico dispuesto en el laboratorio de electrónica digital. Se observan instrumentos de medición y dispositivos como FPGA. Tomada de <https://ingenieria.bogota.unal.edu.co/es/formacion/pregrado/ingenieria-electronica.html> 63
- 4-2. Flujo de trabajo con FPGA simplificado. Basado en Ong *et al.* (2018) e Intel Corporation (s.f.). 64
- 4-3. Tarjetas FPGA ofrecidas por Labsland en sus laboratorios remotos. 68
- 4-4. Metodología aplicada durante la intervención educativa. GE: Grupo Experimental - GC: Grupo Control 75
- 4-5. Escala de respuestas Likert (1 a 7) para cada uno de los ítems del MSLQ-Colombia. 81

- 5-1. Frecuencia de uso de experimento en el laboratorio remoto por día de la semana 87
- 5-2. Franjas de acceso por hora para experimentación en el laboratorio remoto 88
- 5-3. Número de experimentos registrados por equipo de trabajo 88

5-4. Accesos a experimentos realizados en el laboratorio remoto (LR) y presentación de prácticas de laboratorio usando el laboratorio presencial (HO) - desde septiembre 15 a noviembre 20 de 2022	89
5-5. Porcentaje de respuestas obtenidas para cada sub-escala del Pre-Test MSLQ-Colombia, en el grupo Control (GC)	91
5-6. Porcentaje de respuestas obtenidas para cada sub-escala del Post-Test MSLQ-Colombia, en el grupo Control (GC)	91
5-7. Porcentaje de respuestas obtenidas para cada sub-escala del Pre-Test MSLQ-Colombia, en el grupo Experimental (GE)	94
5-8. Porcentaje de respuestas obtenidas para cada sub-escala del Post-Test MSLQ-Colombia, en el grupo Experimental (GE)	95
5-9. Distribución de las notas de todos los informes, de los grupos control (GC) y experimental (GE)	98
5-10. Gráfica de comportamiento de los promedios por informe de laboratorio, para los grupos control (GC) y experimental (GE).	99
5-11. Distribución de las notas de todos los scripts, de los grupos control (GC) y experimental (GE)	100
5-12. Gráfica de comportamiento de los promedios por cada entrega de scripts, para los grupos control (GC) y experimental (GE).	101
5-13. Resultado del análisis cualitativo basado en la encuesta de percepción. Tema: Motivación por aprender	103
5-14. Resultado del análisis cualitativo basado en la encuesta de percepción. Tema: Beneficios emergentes del laboratorio híbrido (HO y LR)	109
5-15. Elementos de preferencia de los estudiantes participantes en la intervención educativa del grupo experimental (GE), en relación con el LH.	114

Lista de Tablas

2-1.	Tipos de laboratorios según la presencialidad o modo de acceso, de acuerdo con la clasificación mostrada en (Brinson, 2015) y (Velosa, 2020).	20
2-2.	Comparativo de características de los distintos tipos de laboratorio. Tomada de Rodríguez-Gil <i>et al.</i> (2017)	27
2-3.	Laboratorios en distintas modalidades, para el aprendizaje de diversas temáticas. Se destaca el buen número de iniciativas en el área de electrónica digital.	36
3-1.	Palabras clave para la búsqueda sistemática	43
3-2.	Ecuaciones de búsqueda derivadas del ajuste basado en las palabras clave	45
3-3.	LRs preseleccionados. Se observa el detalle de los criterios de preselección aplicados en algunas características de interés para el acceso a cada uno de ellos. Acceso en mayo de 2022	48
3-4.	Recuento de algunos criterios para la selección final de un laboratorio remoto.	54
4-1.	Distribución de prácticas por temática usual para la asignatura Electrónica digital 1. Se listan otras actividades que pueden llevarse a cabo en el desarrollo práctico de la asignatura.	65
4-2.	Distribución de prácticas establecidas para cada modalidad y temática, incluyendo las actividades planteadas para cada una de ellas.	70
4-3.	Cronograma aplicado en la intervención educativa	77
4-4.	Preguntas del cuestionario aplicado para conocer la percepción de los estudiantes del grupo experimental (GE)	83
5-1.	Variables estadísticas obtenidas a partir de datos Pre-test y Post-test del grupo Control (GC)	93
5-2.	Variables estadísticas obtenidas a partir de datos Pre-test y Post-test del grupo Experimental (GE)	96
5-3.	Valores promedio para cada revisión de los informes, tanto para el grupo control (GC) como para grupo experimental (GE)	99
5-4.	Valores promedio para cada revisión de los scripts de Verilog, para el grupo control (GC) y grupo experimental (GE)	100
A-1.	Ítems de Motivación por aprender, sub-escala: Metas intrínsecas	127
A-2.	Ítems de Motivación por aprender, sub-escala: Metas extrínsecas	127

A-3.	Ítems de Motivación por aprender, sub-escala: Valoración de la tarea	128
A-4.	Ítems de Motivación por aprender, sub-escala: Control del Aprendizaje	128
A-5.	Ítems de Motivación por aprender, sub-escala: Expectativas de autoeficacia en el rendimiento	128
A-6.	Ítems de Motivación por aprender, sub-escala: Expectativas de autoeficacia en el aprendizaje	129
A-7.	Ítems de Motivación por aprender, sub-escala: Ansiedad en procesos evaluativos . . .	129

1. Introducción

1.1. Motivación

La electrónica digital es un área de gran importancia actual en la vida moderna. Está presente en multitud de aplicaciones y dispositivos. Algunas aplicaciones como teléfonos inteligentes, dispositivos de audio y video, dispositivos médicos, sistemas de seguridad doméstica e industrial, todos ellos cuentan con componentes clave basados en electrónica digital (T.-C. Huang *et al.*, 2019; Sengupta y Ray, 2018).

El escenario que involucra la electrónica digital y sus aplicaciones presenta oportunidades y retos, tanto ahora en el presente como en el futuro. La tendencia de su uso futuro es creciente. Por ejemplo, en ámbitos como IoT (Internet de las cosas), se estima que habrá hasta 64 mil millones de dispositivos conectados para el año 2026 (Cano-Quiveu *et al.*, 2021). Incluso, es posible que se vean nuevos dispositivos de forma masiva que hasta ahora están comenzando su introducción al mercado. Un ejemplo que ha ido en aumento es la creación de *wearables*. Estos son dispositivos cuyo uso en el cuerpo humano permite monitorear señales biométricas y pueden resultar útiles para la medicina, la industria o el deporte. Esto se ha dado gracias al desarrollo de técnicas de manufactura basadas en *electrónica impresa* (L.-Y. Ma y Soin, 2022).

El desarrollo en electrónica digital necesita personal profesional y experimentado. Ya desde hace algunos años la industria demanda personal especializado a todos los niveles (Campi y Ancill, 2016). Los profesionales involucrados deben tener conocimiento y experiencia en el diseño de estos dispositivos. Es una necesidad muy relevante. Además es exigente debido al flujo de trabajo que exige habilidades relacionadas con diseño, simulación, verificación e implementación (Nelson *et al.*, 2021).

El trabajo en diseño de dispositivos con componentes electrónicos se basa en la teoría de electrónica digital. Todo el diseño se hace a partir de circuitos digitales. Sus bases se encuentran fundamentadas en los materiales semiconductores. Su fabricación ha sido mejorada notablemente. Los fabricantes han impulsado la creación de circuitos digitales cada vez mejores gracias a las avanzadas técnicas de manufactura desarrolladas en la industria de semiconductores (Chen *et al.*, 2014).

El diseño de circuitos digitales se puede realizar a varios niveles; uno de ellos es el esquemático. En este nivel se trabaja con tablas de verdad y ecuaciones booleanas. El número de componentes electrónicos resultantes se puede disminuir si después se hacen procesos de minimización y simplificación de

estas ecuaciones. De esta forma, el resultado obtenido permitirá ordenar y conectar las compuertas lógicas que darán lugar al circuito digital funcional. Su complejidad puede incrementarse al combinar circuitos de tipo combinacional y secuencial (Harris y Harris, 2012).

Un diseño de mayor nivel y complejidad requiere otro tipo de herramienta como los HDL. Los lenguajes de descripción de hardware HDL son útiles para construir circuitos digitales de mayor complejidad. El diseñador puede formular especificaciones del circuito usando un software CAD (*computer-aided design*). Por lo tanto, permiten trabajar en un nivel de abstracción superior al de los esquemáticos con compuertas. Los lenguajes más conocidos son Verilog y VHDL (Harris y Harris, 2012). El diseñador que usa algún HDL puede obtener diseños más eficientes y complejos en comparación con anteriores métodos de diseño (Navarro *et al.*, 2013).

Las instituciones educativas han tratado de seguir el paso al avance de la industria y el diseño en electrónica digital. Han incorporado y actualizado el diseño de circuitos digitales en algunos cursos de ingeniería. No obstante, ya desde los años 90 el trabajo con esquemáticos y compuertas ha cambiado en favor de la introducción de los HDL en el aula (Navarro *et al.*, 2013; Saiz-Vela *et al.*, 2020). Las prácticas a pequeña escala con integrados de la serie 74 en muchos casos han dado paso a la práctica con HDL. Su implementación y pruebas se apoya en dispositivos lógico programables (PLD en inglés) (Yuchao *et al.*, 2019). De esta manera, el desarrollo de habilidades prácticas por parte de los estudiantes para la codificación y comprensión de los HDL se ha convertido en un tema esencial, especialmente en asignaturas de ingeniería electrónica. (Jiménez-Fernández *et al.*, 2020).

Sin embargo, los estudiantes presentan dificultades para el aprendizaje de HDL. En primer lugar, los HDL pueden ser complejos de aprender debido al paradigma de uso y finalidad (Becker, 2014). Estos lenguajes presentan un carácter no secuencial, contrario a los lenguajes de programación (Ebeling y French, 2007). En segundo lugar, la sintaxis y estructura de verilog, uno de los HDL populares, es similar a la del lenguaje C. Esta es otra fuente de confusión a la hora de codificar y verificar los diseños (Donzellini y Ponta, 2016). Así mismo, cuando el diseño involucra una complejidad aritmética importante, el uso de HDLs puede ser aún más difícil. Tras la codificación usando un HDL, se involucran otras etapas como la simulación. Aquí la diferencia de comportamiento con la implementación dificulta la detección de errores (Navarro *et al.*, 2013). Un problema adicional es el del tiempo destinado a la práctica de un HDL. Los docentes pueden encontrar problemas para cubrir la temática de diseño digital y la práctica de un HDL de manera satisfactoria (Phadke y Kulkarni, 2017).

El aprendizaje de un HDL requiere un esfuerzo importante tanto de los docentes como de los estudiantes (Bauer *et al.*, 2021). Con todo, existen mecanismos e iniciativas que ayudan no sólo a mejorar el aprendizaje de un HDL, sino la motivación por aprender de los estudiantes. Entre estos trabajos se destacan aquellos que consisten en: reducir la complejidad de flujo de trabajo necesario para lograr un diseño digital adecuado, como *vicilogic* (Morgan *et al.*, 2018) o *Melodi* (Bauer *et al.*, 2021); la creación de un lenguaje a modo de *wrapper* o mediante el uso de un lenguaje de programación conocido para

este fin (Haase, 2022; Navarro *et al.*, 2013); dar a los estudiantes la posibilidad de practicar y corregir sus errores gracias a herramientas de calificación automática (Kumar *et al.*, 2013); metodologías específicas de tipo *spiral learning* integradas con la práctica en el laboratorio (Vemuru *et al.*, 2013); y el uso de analogías tomadas de lenguajes de programación para ser aplicadas en forma similar al paradigma paralelo y secuencial de los HDL (Öztekin y Gülbağ, 2022).

La práctica en el laboratorio puede mediar como una oportunidad para el aprendizaje de un HDL. Los laboratorios poseen gran utilidad y presentan beneficios para el aprendizaje. Permiten a los estudiantes incrementar su aprendizaje por experiencia. La teoría basada en conceptos y la práctica basada en la experimentación están conectadas como consecuencia de la reflexión, análisis y adquisición de datos. En las carreras STEM (science, technology, engineering, mathematics), su importancia es indudable. Para los estudiantes de estas carreras es imprescindible la adquisición de habilidades al interactuar con los equipos de laboratorio al igual que la percepción de información táctil que pueden ofrecer. Así, se genera un efecto positivo en los dominios psicomotor y cognitivo (Bhute *et al.*, 2021). También permiten desarrollar el interés y la motivación, habilidades en solución de problemas y la aplicación del conocimiento en la vida real (Abdulwahed, 2010).

Respecto a la práctica, vale mencionar que se han efectuado otros esfuerzos que han buscado generar espacios de práctica extendida para los estudiantes. El hecho de ocupar más horas en la enseñanza del diseño digital puede llevar a mejoras en el aprendizaje (Boluda *et al.*, 2006). Entre las iniciativas se cuenta con la creación de cursos para revisión y estudio extraclase (Chowdhury *et al.*, 2013). En otro caso, la idea fue la creación de un curso práctico adicional al curso de electrónica digital teórico. Esto ha aumentado el interés y curiosidad de los estudiantes (Phadke y Kulkarni, 2017). No obstante, esto plantea problemas de disponibilidad de equipo conforme aumenta la necesidad de práctica y el número de estudiantes (Reinsalu y Ellervee, 2011). Otra iniciativa es la disposición de información online o programa de software mostrando ejemplos puntuales como base de trabajo para otros diseños (Chen *et al.*, 2013; Johnson, 2011). Finalmente, están las iniciativas que van en vía de crear kits de práctica para implementar en casa (Saiz-Vela *et al.*, 2020).

No obstante, es importante que los laboratorios sean efectivos desde varios puntos de vista, entre ellos, el educativo. J. Ma y Nickerson (2006) mencionan la necesidad de ir formando y consolidando conocimientos que den luces sobre los laboratorios. Es decir, los trabajos investigativos deben apuntar a la búsqueda de elementos que permitan a los estudiantes obtener un mejor aprendizaje en la práctica de laboratorio. Estos podrían potenciar o disminuir algunos aspectos clave para el aprendizaje. Entre estos se encuentran aquellos relacionados con la autorregulación del aprendizaje en los estudiantes. En el marco de la autorregulación, la motivación es un aspecto crítico que influye en el estudiante para lograr sus metas y cumplir con sus tareas de aprendizaje. Es un área dentro del proceso de aprendizaje por el cual un estudiante autorregula sus comportamientos acorde a determinadas metas. Este proceso influye en su interés por comprender y dominar una tarea, así como la sensación de poder realizarla de forma efectiva. Esto implica que el estudiante actúa para establecer y mante-

ner el nivel de motivación en el tiempo y así alcanzar las metas de manera exitosa (Wolters, 2003). Al igual que los aspectos cognitivos, la motivación puede ser regulada. En este sentido, ocupa aspectos como el control de creencias, la valoración de la tarea, juicios de autoeficacia para realizar una actividad, etc. (Monique *et al.*, 2005).

El potencial que ofrece el abordaje del constructo motivacional tiene implicaciones importantes en el ámbito académico. Es importante que los estudiantes establezcan metas de aprendizaje y puedan estimar en gran valor las tareas académicas. El autoconcepto y las creencias sobre las capacidades y aptitudes propias también hacen parte de los procesos de aprendizaje. Estos aspectos de la motivación cooperan de una forma singular en el desempeño de los estudiantes. Incluso, estos aspectos son fuertes predictores de las notas más allá de un nivel de inteligencia o del historial académico (Steinmayr *et al.*, 2019).

Por lo tanto, existe la necesidad de que las instituciones, los docentes y demás implicados en la educación incluyan habilidades de autorregulación como la motivación en los procesos de aprendizaje. Si se fomenta la obtención de un aprendizaje efectivo con estrategias dirigidas también a una dimensión no cognitiva o afectiva, el resultado podrá observarse en el rendimiento académico. Este último es generalmente entendido y cuantificado a través de las calificaciones. No obstante, también hace referencia a la comprensión de una temática y al cumplimiento de metas u objetivos de aprendizaje en un plan académico o asignatura (Rodríguez-Rosero *et al.*, 2021). Por ello es importante abordar también el rendimiento académico en el laboratorio. Así, se podrá dar un elemento adicional de juicio en su relación con la motivación y el desarrollo satisfactorio de prácticas de laboratorio.

1.2. Trabajos relacionados

Existe una clasificación de laboratorios de acuerdo a la presencialidad. Se hace una distinción inicial entre *laboratorios tradicionales (TL) o Hands On (HO)*, *laboratorios no tradicionales (NTL)* (Velosa, 2020). Los TL corresponden de manera casi exclusiva a los laboratorios presenciales. Se caracterizan por contar con la presencia física de todo el equipo necesario para llevar a cabo la experimentación. Entre varios de sus nombres, se les conocen como hands-on. Así, se podría hablar de TL, tradicional, presencial o hands-on por igual en ciertos contextos. Dentro de los NTL se encuentran los laboratorios virtuales y los laboratorios remotos. Usualmente no requieren la presencia física del estudiante. Pueden apoyarse o no en equipo físico a distancia o en entornos simulados (Brinson, 2015). A su vez, los *laboratorios híbridos* pueden o no estar incorporados dentro de los NTL o de forma independiente según el autor.

El laboratorio híbrido consiste en la integración de dos o más modalidades de laboratorio “puro”. Se pueden conformar mediante la combinación de dos o más modalidades de laboratorio buscando reu-

nir los beneficios que ofrece cada modalidad por separado (Velosa, 2020). Desde el punto de vista del acceso, un estudiante puede tener la posibilidad de conexión a una plataforma remota y a la experimentación con una plataforma en sus manos. Esto daría lugar, por ejemplo, a la conformación de un laboratorio híbrido que integra modalidades remota + tradicional (*hands-on*) (Velosa, 2020). Cabe mencionar que no existe amplio consenso sobre esta definición. Distintos autores han agregado o matizado algunos aspectos de los mismos (Jurc *et al.*, 2020; Rodríguez-Gil *et al.*, 2017; Zapata-Rivera *et al.*, 2019). Existen varios propósitos para conformar un laboratorio híbrido: reunir las ventajas de las distintas modalidades (Alsaleh *et al.*, 2022), generar un mayor acceso a los estudiantes, abordar mejor los distintos estilos de aprendizaje a nivel individual (Krnetá *et al.*, 2012). Todo ello bajo una integración apropiada y segura acorde a los presupuestos de espacio, personal y recursos en general (Mayoof *et al.*, 2021).

En diversos campos y áreas del conocimiento, los laboratorios híbridos han tenido una apreciación positiva. Por ejemplo, en el área de Ingeniería aeroespacial y oceánica, se presenta una experiencia de un túnel de viento (SWT-Stability Wind Tunnel), donde se constituyó un laboratorio híbrido. Se integraron medios de video-transferencia y expertos guías. Los estudiantes dieron una respuesta positiva a las preguntas sobre la experiencia, no obstante se menciona el interés por mantener las sesiones de laboratorio presencial como un componente fuerte de la práctica (Szőke, 2022). Otro campo relacionado con Biología, expuesto por Son (2016), muestra ventajas de un laboratorio híbrido que involucra elementos virtuales. El beneficio para los estudiantes resultó en mejores calificaciones y, en general, una actitud positiva hacia el campo del conocimiento en el cual se encuentran inmersos. Otros resultados positivos han sido observados en mecánica de fluidos en Cossu *et al.* (2022) y control de procesos en Alsaleh *et al.* (2022) y Lei *et al.* (2018).

En algunos trabajos enmarcados en el área de ingeniería eléctrica y electrónica, los laboratorios híbridos también han reportado beneficios para los estudiantes. Por ejemplo, en Mayoof *et al.* (2021) y Bowden *et al.* (2019) se menciona que se logró de una mayor cobertura de estudiantes. En cuanto al área de visión de máquina hay reportes de percepción estudiantil positiva. En un laboratorio híbrido involucrando elementos remotos, la realización de las prácticas usando las distintas modalidades se recibió de manera positiva (AbuShanab *et al.*, 2018; Winzker y Schwandt, 2019). En otro caso cercano al trabajo con HDLs, los estudiantes percibieron beneficios para su aprendizaje con el FPGA-watertank (Rodríguez-Gil *et al.*, 2017). Allí se describe la experiencia de un experimento que fue enriquecido con realidad aumentada, dando lugar a más información y posibilidad de maniobra en la experimentación. No obstante, un aspecto que retiene su importancia en ciertos casos es la experimentación física. Aún así, puede ser provechoso intentar primero algún tipo de experimentación virtual. Esto permite obtener habilidades de trabajo autónomo, mejora en la toma de decisiones y conocimiento mejorado de herramientas de software (Korud *et al.*, 2015). Así las cosas, diversos trabajos muestran implementaciones y en menor medida, percepciones de estos laboratorios. Su número disminuye si se trata de aprendizaje, motivación o rendimiento académico relacionado con HDLs. Por lo tanto, es necesario explorar alternativas de laboratorios híbridos relacionados con HDLs para dar a conocer sus efectos.

1.3. Identificación del problema

Los trabajos relacionados previamente muestran distintos niveles en el reporte de efectos debidos a los laboratorios híbridos. En general, independiente del área de conocimiento, los estudiantes han aceptado positivamente aquellas iniciativas en las que se preguntó sobre su percepción. Aun así, existe una serie de diferencias en los resultados acorde al contexto, modo de aplicación y tipo de experiencias valoradas. Estudios como el de Son (2016) (área de biología) y Velosa (2020) (procesos de manufactura) muestran resultados relativamente opuestos en términos de competencias adquiridas. En el primero, se realizó una evaluación de impacto de un laboratorio híbrido en comparación con otras modalidades. Un laboratorio híbrido combina el laboratorio tradicional o *hands-on*—HO con el laboratorio virtual—LV. Se tomó en cuenta el impacto en el aprendizaje, actitud hacia el laboratorio y los costos. No se encontraron diferencias significativas en el aprendizaje de conceptos, en particular en el concepto de evolución en biología (Son, 2016). Entretanto, en el segundo se hicieron validaciones de varios laboratorios híbridos; se encontró que algunas competencias específicas en manufactura fueron beneficiadas. En cuanto a competencias generales, la que obtuvo el mayor valor fue la de 'reconocimiento del equipo y software' (Velosa, 2020). Cabe aclarar que las áreas de conocimiento son distintas. A pesar de esto, estas diferencias se agudizan debido a las múltiples variables que se pueden evaluar desde distintas ópticas y variables. Algunas de ellas pueden abarcar la flexibilidad, actitud del estudiante hacia la temática, valoración de actividades, completitud de prácticas, abordaje de problemas del mundo real, interacciones, etc (Cossu *et al.*, 2022). Todo ello es una muestra de las diferencias entre hallazgos, al igual que el modo de llegar a ellos en la búsqueda de efectos debidos a los laboratorios.

No obstante, aún hacen falta más hallazgos que permitan ir consolidando los beneficios y problemas de las modalidades de laboratorio. El modo de llegar a estos hallazgos también es relevante. En el campo de ingeniería electrónica, Moulay *et al.* (2021) menciona la falta de evidencia empírica que involucre a los laboratorios en sus modalidades virtual, remota y *hands-on*. Por su parte, Ayodele *et al.* (2015) muestra una falta de evidencia concluyente sobre el desempeño estudiantil. No obstante, en electrónica y control ya hay un progreso importante. Estos campos presentan un mayor número de iniciativas de laboratorios virtuales y remotos acorde a la revisión que realizó (Velosa, 2020). Un número importante de trabajos, no obstante, muestra resultados basados sólo en percepción. Si bien la información que se obtiene es valiosa, es posible que en algunos casos no se ajuste del todo a la realidad. La percepción debería estar ligada al uso de instrumentos de recolección validados. Así se puede recolectar la información que en verdad se quiere obtener (Brinson, 2015). Si ese no es el caso, la percepción de los estudiantes podría no relacionarse con lo obtenido en el desempeño académico. Esto podría poner a prueba la validez de los trabajos basados únicamente en la percepción estudiantil. Estos podrían ser distorsionados, por ejemplo, por el efecto de novedad (Ayodele *et al.*, 2015). Vale

mencionar que los instrumentos adecuados pueden ser difíciles de encontrar para laboratorios remotos (Cuadros *et al.*, 2021) o insuficientes para el caso de los laboratorios virtuales (Kłoda y Piwiński, 2017). Pese a todo, algunas iniciativas han ido surgiendo, como la que aborda la experiencia de usuario en laboratorios remotos (Cuadros *et al.*, 2021). Así pues, hay necesidad de involucrar instrumentos validados, para obtener mejor información recolectada de los aspectos que se quieren estudiar en las investigaciones.

Existen consideraciones sobre el potencial de los laboratorios híbridos de acuerdo a sus características. Es decir, varios autores han mencionado que es probable obtener efectos positivos gracias a la combinación de modalidades, en particular mezclando elementos físicos y virtuales (Brinson, 2015; Esposito *et al.*, 2021). Por su parte, Ayodele *et al.* (2015) menciona que la combinación (*remoto + hands-on*) tendría resultados positivos para el aprendizaje de HDL y su implementación usando FPGAs. Otras consideraciones sobre su potencial parten de la necesidad de evolución en la enseñanza y procesos digitales asociados (Molnar *et al.*, 2022). Esta necesidad puede verse incrementada en situaciones aún más críticas si se tiene en cuenta la emergencia por COVID-19 surgida desde finales de 2019. En su momento, esta situación generó una serie de restricciones a todos los niveles en la sociedad, incluido el educativo. El laboratorio híbrido puede contribuir a la mitigación de efectos negativos en estas situaciones. Así se han generado iniciativas para beneficiar a los estudiantes en su aprendizaje y contacto con herramientas de laboratorio usando los medios tecnológicos a disposición (Bhute *et al.*, 2021). Con todo esto, se podría contribuir al incremento de conocimiento sobre laboratorios para identificar los elementos positivos para el estudiante (J. Ma y Nickerson, 2006).

Existen multitud de factores que pueden afectar el resultado en el aula. En trabajos relacionados con el aprendizaje de HDL, la revisión de literatura muestra características similares. En general, la aceptación de las nuevas modalidades parece ser positiva (Valencia de Almeida *et al.*, 2022). No obstante, en J. Ma y Nickerson (2006) se indicaba la necesidad de aislar y estudiar variables o factores que pudieran ser clave para valorar la efectividad de un laboratorio. Así, variables como la motivación para el aprendizaje podrían ser foco de estudio para evaluar la efectividad de una modalidad de laboratorio particular. Sin embargo, el campo es bastante inexplorado y los resultados no se han obtenido de forma sistemática (Brinson, 2015). El uso de instrumentos más elaborados es escaso. Esto genera una necesidad de dar mayor soporte y validez a los datos obtenidos y su respectivo análisis. Otra variable como el rendimiento académico, la cual se relaciona con factores motivacionales, podría ser un añadido para una comprensión más completa. No obstante, esta relación entre motivación y desempeño académico está más clara para la educación tradicional (Broadbent y Poon, 2015). Por lo tanto, se podría aportar en este sentido al abordar una modalidad híbrida.

De este modo, se desconocen los efectos que tendría el laboratorio híbrido en la combinación de las modalidades *tradicional + remoto* en la motivación en el aprendizaje y el desempeño académico entre los estudiantes. Dado el potencial de los laboratorios híbridos, se podrían encontrar efectos positivos para el aprendizaje de un lenguaje de descripción de hardware HDL y su implementación en un dis-

positivo FPGA. Por lo tanto, es pertinente realizar la indagación sobre los posibles efectos del trabajo con las dos modalidades de laboratorio, enmarcados en la enseñanza de temas de electrónica digital. Acorde a lo anterior, surge la pregunta ¿cuál es el efecto de aplicar la modalidad de laboratorio híbrido en el desempeño académico y la motivación en el aprendizaje de un HDL de los estudiantes de electrónica digital?

1.4. Objetivos

1.4.1. Objetivo general

Explorar los efectos en la motivación por aprender y en el desempeño académico de los estudiantes de electrónica digital que empleen un laboratorio híbrido para el aprendizaje de un HDL.

1.4.2. Objetivos específicos

1. Realizar un comparativo teórico sobre los laboratorios remotos existentes para el aprendizaje de un HDL, con base en criterios técnicos y posibilidades en temáticas de práctica, para incorporarlo en un laboratorio híbrido (remoto + tradicional) que será utilizado en esta investigación.
2. Integrar el laboratorio remoto seleccionado con las prácticas tradicionales de un curso de Electrónica digital con el fin de conformar un laboratorio híbrido para el aprendizaje de un HDL.
3. Diseñar una intervención educativa para evaluar los posibles efectos en la motivación y en el desempeño académico de los estudiantes que realicen prácticas con un laboratorio híbrido para el aprendizaje de un HDL.
4. Implementar la intervención educativa en el aula de electrónica digital basado en el diseño previo, involucrando el laboratorio híbrido para el aprendizaje de un HDL.
5. Analizar el efecto del laboratorio híbrido en el desempeño académico y la motivación en el aprendizaje de los estudiantes que utilicen dicho laboratorio.

1.5. Estructura de la tesis

El resto de este documento está estructurado de la siguiente manera:

- En el Capítulo 2 se presenta el marco conceptual y los trabajos relacionados con laboratorios remotos e híbridos, así como información relevante en el campo de la motivación, el rendimiento académico y elementos de importancia en el área de electrónica digital.

-
- En el Capítulo 3 se encuentra dispuesto el proceso de búsqueda y selección de un laboratorio remoto, como componente para integrar en conjunto con la modalidad tradicional (Hands-on) y así formar un laboratorio híbrido. Se detallan los criterios y rutas aplicadas para este fin.
 - En el Capítulo 4 se presenta el diseño de la intervención educativa. Allí se involucró el proceso de consolidación del laboratorio híbrido en una asignatura de electrónica digital, así como los métodos para recolección y posterior análisis de datos.
 - En el Capítulo 5 se pueden observar los resultados obtenidos a partir de los datos recolectados en la intervención educativa. Se muestran y describen las principales características a modo descriptivo para cada una de las variables e instrumentos aplicados.
 - En el Capítulo 6 se lleva a cabo la discusión de los resultados experimentales, con el fin de establecer conexiones e ideas claras acerca del aporte del trabajo realizado.
 - En el Capítulo 7 se da a conocer las conclusiones finales, publicaciones realizadas dentro del marco del trabajo de investigación y los trabajos sugeridos que pueden ser llevados a cabo en el futuro.

2. Marco conceptual y trabajos relacionados

2.1. Motivación en el aprendizaje

La adquisición de habilidades y aptitudes es importante para el aprendizaje, a la vez que existen otras dimensiones no cognitivas que se han abordado en la educación. En el área de electrónica digital, se han observado algunos problemas más allá de la cognición. Algunos de ellos tienen relación con la motivación. Aunque la literatura no es amplia en este sentido, existen algunas referencias al respecto. Por ejemplo, en Danowitz (2016), se menciona que la falta de interés de los estudiantes por una asignatura relacionada con diseño digital, se debe en parte a la falta de tiempo para la creatividad. En electrónica digital, los estudiantes podrían no buscar profundizar en la temática debido al desconocimiento previo de la misma. Para ello, el autor indica que la asignación de un proyecto que implique a los estudiantes es beneficioso. Allí la motivación interviene con un papel importante en el proceso de su desarrollo y finalización.

Otros problemas se muestran en la conclusión del trabajo de Acevedo *et al.*, 2015. En esta investigación, asociada a ingeniería de sistemas, se subrayan inconvenientes con los hábitos de estudio de los estudiantes. La distribución efectiva del tiempo y las buenas prácticas para concentrarse son algunos de ellos. Por ello, se recalca la importancia de que los estudiantes conozcan y utilicen técnicas de estudio en el progreso de sus cursos. Como se verá más adelante, el uso y administración de estas técnicas podría influir significativamente en la motivación en los estudiantes.

También algunas iniciativas de laboratorio en electrónica digital han estado relacionadas con aspectos más allá del ámbito técnico. Algunos de ellos están relacionados con la autorregulación del aprendizaje y la relación entre sus componentes cognitivos y motivación, como lo observa Barak *et al.*, 2016.

Una de las estrategias aplicadas para aumentar la motivación en cursos de electrónica digital es la de *aprender haciendo* (*Learning by doing*). Esto ayuda a que los estudiantes obtengan algunas habilidades y conceptos gracias a la práctica. Todo ello se sitúa dentro de la pedagogía del aprendizaje por experiencia, acorde a lo citado por los autores, la cual agrupa algunas estrategias para la motivación. El proceso de aprendizaje por experiencia es cíclico y puede tener varias fases. Entre ellas se destacan la experiencia, la reflexión y la aplicación. También se contemplan los errores que pueden cometer los estudiantes. Pueden fallar para volver a intentarlo, con el profesor como facilitador en el proceso

(Siong y Thow, 2017).

Por lo expuesto previamente, es importante el estudio de temas educativos en diversas áreas del conocimiento, abordando tanto elementos cognitivos como no cognitivos. Entre estos temas, la motivación en el aprendizaje se ha reconocido como un componente clave, ya que influye significativamente en el proceso educativo de un estudiante. El comportamiento frente a este proceso es el resultado de reflexiones internas sobre lo que lo impulsa a aprender. Así, todo esto se convierte en motivo de investigación y observación para encontrar razones de cómo se realiza este proceso, abordando preguntas alrededor del ¿cómo se aprende? (Villarreal-Fernández y Arroyave-Giraldo, 2022).

En consecuencia, se han generado varias definiciones de motivación. No obstante, esto puede ser algo complejo de precisar. Existen varias definiciones debido a que la motivación es de naturaleza no observable de forma directa. No constituye una propiedad física. Además, está inmersa en el complejo mecanismo que dirige las conductas humanas. Con todo, una definición de motivación relacionada con el aprendizaje, consiste en aquel impulso que un estudiante tiene por destinar su tiempo a una actividad. Se mantiene en el tiempo y está bajo una decisión libre. Las razones que mueven al estudiante son personales, únicas y provienen tanto de estímulos externos como de convicciones individuales (Redondo y Martín, 2015).

Por su parte, en el trabajo de Gopalan *et al.* (2017), se comienza presentando algunas nociones básicas sobre la motivación. En primer lugar, se define como un concepto relacionado con el comportamiento humano. Es un proceso que permite fijar metas, comenzar a seguirlas y mantener ciertos comportamientos a lo largo del tiempo para alcanzarlas. Es lo que impulsa a una persona a realizar determinadas acciones que le permitirán cumplir un objetivo o satisfacer alguna necesidad o llenar alguna aspiración (Gopalan *et al.*, 2017).

De este modo, el nivel de motivación tiene consecuencias directas que influyen en el rendimiento de los estudiantes y su estancia en una institución o proceso educativo (Villarreal-Fernández y Arroyave-Giraldo, 2022). De ahí que en el estudio de Lin *et al.* (2017), la motivación en el aprendizaje esté definida como un proceso de orientación y dirección del aprendizaje del estudiante. Sus esfuerzos y energías se enfocan en los objetivos y metas propuestas por los docentes en el proceso. Ocupa tanto motivación extrínseca como intrínseca. La primera de ellas podría dar lugar al inicio de un proceso de aprendizaje. Si se registra un cambio a motivación intrínseca, el estudiante podría incrementar su nivel de aprendizaje autónomo. Sería capaz de tomar decisiones propias e incluso, obtener una sensación de bienestar y de logro al obtener algunos resultados en el proceso. No obstante, recalca que el proceso de aprendizaje puede sustentarse a partir de ambas. Tanto las motivaciones interiores propias de la autorreflexión, como los incentivos que puedan proveer docentes y padres de familia, pueden cooperar en el avance del aprendizaje en el estudiante.

Otras definiciones de motivación se encuentran enmarcadas en teorías y modelos que buscan ex-

plicar de alguna manera la complejidad del aprendizaje. Acorde a Panadero y Alonso-Tapia (2014), basado en Zimmerman, la motivación se encuentra inmersa como uno de los aspectos que los estudiantes pueden controlar a través de la autorregulación. Este es un modelo que involucra aspectos del aprendizaje tales como cognición, emoción y motivación. Con ello, el estudiante plantea estrategias y métodos para lograr alcanzar los objetivos o metas concretas que se hayan propuesto. Él mismo ejerce control sobre estos aspectos. En este modelo, la motivación es un componente clave. Para Zimmerman, la voluntad del aprendiz es importante para controlar los esfuerzos en la actividad y la motivación es afectada por sus propias reacciones durante una fase de autorreflexión. Esta fase se encuentra al final dentro de un ciclo de autorregulación, donde el estudiante revisa su desempeño y evalúa las acciones que le han llevado a un buen o mal resultado (Panadero, 2017). Para la motivación, el estudiante debe ser consciente del estado en que ésta se encuentra. Así, él podrá generar estrategias para aumentarla y mantener el interés (Panadero y Alonso-Tapia, 2014). Por lo tanto, la motivación es crítica para los procesos de autorregulación de los estudiantes (Brown *et al.*, 2015).

En Panadero y Alonso-Tapia (2014), se informa que la motivación para realizar una actividad depende de variables como las creencias, valores, intereses y metas personales. La interacción entre estas variables es la que da lugar a un cierto nivel de motivación para hacer una actividad. Esto sucede, en particular, en los momentos iniciales en que un estudiante valora y establece la tarea que tiene por delante. Puede tomar muy poco tiempo e incluso, hacerlo de forma inconsciente. Cabe señalar que este modelo es basado sobre todo en aspectos cognitivos, por lo que no aborda ampliamente las emociones en el proceso (Panadero y Alonso-Tapia, 2014).

Por su parte, Pintrich y Groot (1990) también han establecido un modelo en fases que relaciona la autorregulación y la metacognición. Los aspectos que se consideran son similares al modelo de Zimmerman, aunque Pintrich da mayor relevancia a la metacognición (Panadero, 2017). Según recoge Schunk (2005) acerca de Pintrich, en este modelo se contemplan vínculos entre autorregulación, motivación y aprendizaje. En la comparación entre quienes autorregulan y no autorregulan en su aprendizaje, se encontraron diferencias en sus procesos de motivación. Los primeros establecen sus metas, ajustan sus estrategias a lo largo del proceso y ordenan sus habilidades al servicio del aprendizaje. De ahí que los hallazgos establecen algunos beneficios que se observan en estudiantes con marcada habilidad y estrategia para la autorregulación. Entre estos beneficios se cuentan un mejor aprendizaje y mayor motivación por aprender. En consecuencia, para Pintrich la motivación constituye un núcleo principal en las investigaciones sobre aprendizaje autorregulado. Es vital debido a la interacción entre procesos cognitivos y motivacionales (Schunk, 2005).

La motivación es un aspecto que ha recibido un grado de atención importante en la educación superior. Un abordaje de la motivación en este sentido se da a través de la teoría de la autodeterminación – SDT (*self-determination theory*). En el marco de la SDT, se relaciona la motivación con el impulso humano por crecer, por estar activos e ir acumulando experiencias en el proceso (Morelli *et al.*, 2022). En este caso, hay una progresión de estados de motivación. Esta se extiende en un rango que va desde la

falta de motivación (o amotivación) hasta la motivación intrínseca (Nicolás y Ramos, 2020). La amotivación se interpreta como falta de interés absoluto. La motivación externa, motivación introyectada y motivación identificada son los siguientes tres estados de motivación, que van desde la aceptación de aprender por presión externa hasta la toma de decisiones por una determinada conveniencia en ciertos aspectos a futuro. La motivación intrínseca es el último tipo, que se asocia a una gran autonomía y competencia. En este estado, el interés es genuino y amplio, y el proceso de aprendizaje es llevado con gusto y buena disposición (Morelli *et al.*, 2022).

Acorde a lo anterior, la transición de un estado de motivación a otro se da mediante un proceso de internalización. Para que este proceso se lleve a cabo, necesita del desarrollo de tres impulsores principales, a saber: autonomía, competencia y relación con los demás. El primero de ellos muestra la necesidad de la autorregulación para el desarrollo de las actividades, más que por un sometimiento ciego a las reglas y forma de hacer las cosas. La competencia se refiere al hecho de poder sentirse efectivo gracias a la realización de una tarea de forma satisfactoria a pesar de los desafíos. La relación con los demás encuentra significado e importancia gracias a la conexión con las personas que influyen alrededor de una actividad o en un contexto preciso (Nicolás y Ramos, 2020).

Otra definición de motivación está enlazada con la teoría EVT (*expectancy-value theory*, por sus siglas en inglés). En esencia, la motivación para realizar una actividad está mediada por la relación entre las expectativas de eficacia o éxito y el valor subjetivo que se le da a la misma. En esta teoría, hay cuatro clases de valor. Primero, el valor del logro, relativo a la percepción de alcanzar un desempeño adecuado y de realizar bien la tarea. Luego, el valor intrínseco, trata del bienestar y gusto al realizar la actividad. En tercer lugar, el valor de utilidad, enlazado con un posible beneficio a futuro que lleva a involucrarse en la actividad. Finalmente, el costo relativo, que se enfoca en valorar la ganancia o pérdida de algunos recursos como el tiempo o el esfuerzo físico y mental (Brown *et al.*, 2015).

La motivación se puede relacionar con elementos tanto cognitivos como sociales, por lo cual es posible distinguir algunos componentes. Entre ellos se encuentra un componente de expectativa, basada en las creencias de los estudiantes. Un segundo componente es el de valor, que se relaciona con la valoración de la tarea y las metas (Steinmayr *et al.*, 2019). Un tercer componente es el afectivo, que involucra un estado emocional como la ansiedad (Villarreal-Fernández y Arroyave-Giraldo, 2022). De manera puntual, estos componentes se encuentran divididos en ítems. Estos abordan aspectos de la motivación como orientación a metas intrínsecas y extrínsecas, valor de la tarea, control de creencias y expectativa de eficacia (Schunk, 2005). Constituyen una guía para valorar el nivel de motivación de los estudiantes, y son una base importante en este trabajo. A continuación se muestran aquellos relacionados con la motivación en el aprendizaje, como se listan en (Ramirez-Echeverry *et al.*, 2016).

- **Valoración de la tarea:** son creencias que tiene el estudiante sobre la importancia y utilidad de algún proceso de aprendizaje (Schunk, 2005). El estudiante evalúa y genera un nivel de relevancia de las actividades inscritas dentro de una asignatura (Paoloni, 2009).

- **Ansiedad:** Explora la dimensión emocional que interviene en procesos de evaluación. Por tanto, es una variable que ejerce una influencia significativa en el desempeño estudiantil (Villarreal-Fernández y Arroyave-Giraldo, 2022).
- **Orientación a metas extrínsecas:** corresponde a una de las orientaciones básicas hacia una meta. Se centra en el resultado que dará lugar a una recompensa futura. El esfuerzo se constituye en un medio de conseguir otros beneficios más allá. Según Paoloni (2009), el estudiante que sigue metas extrínsecas suele focalizar su atención en los demás. Pueden buscar aprobación externa, reducen sus esfuerzos y buscan llegar al desempeño aceptable o necesario pero no significativo en algunos casos (Paoloni, 2009).
- **Creencias de control del aprendizaje:** hace referencia a la percepción de control que el estudiante tiene sobre su proceso de aprendizaje. Así, lo que aprenda lo puede atribuir a factores externos como los docentes o ambiente de aprendizaje. No obstante, quienes perciben que poseen un buen control de aprendizaje, tendrán mejores avances y logros en su aprendizaje en comparación con quienes no lo poseen (Ramírez-Echeverry, 2019).
- **Orientación a metas intrínsecas:** corresponde a una de las orientaciones básicas hacia una meta. Se centra en un proceso de aprendizaje y el control que tienen sobre el mismo. Para un estudiante orientado hacia una meta intrínseca, el aprendizaje es un fin en sí mismo. Es capaz de asumir desafíos, de aumentar sus esfuerzos cuando se requiere solucionar una tarea difícil o se presentan obstáculos en el proceso. El procesamiento de la información también es un rasgo distintivo, puesto que analizan y procesan mejor la información (Paoloni, 2009).
- **Expectativas de autoeficacia en el aprendizaje:** Se relaciona con la percepción o creencia de un estudiante sobre sus capacidades propias. Con estas, podrá aprender o realizar un esfuerzo que le llevará a un determinado nivel en el proceso de aprendizaje (Schunk, 2005). La dificultad de la tarea o proceso también incide en este punto (Ramírez-Echeverry, 2019).
- **Expectativas de autoeficacia para el rendimiento:** está relacionado con los procesos evaluativos. En particular, aborda la percepción del estudiante que tiene de sí mismo para obtener buenos resultados en las evaluaciones sumativas (Ramírez-Echeverry, 2019).

2.2. Rendimiento académico

El rendimiento académico es un constructo definido como “el logro alcanzado por el estudiante en su proceso formativo” (Lucena *et al.*, 2019). Se trata de un concepto que está orientado al logro. El estudiante obtendrá su calificación al alcanzar las metas de un curso. Se relaciona también con el nivel de comprensión de un contenido temático, cuya valoración se basa en una comparación con un estándar definido (Lamas, 2015).

Acorde a Pérez-Villalobos *et al.* (2018), el rendimiento académico se puede definir como la suma de resultados obtenidos por un estudiante debido a las distintas valoraciones de pruebas o exámenes a lo largo de su proceso académico. Se puede ver impactada por múltiples factores, tanto personales o internos, como externos. Las características de un individuo tales como el género o historial de notas pueden generar indicios acerca del rendimiento futuro. Estos constituyen factores internos. El diseño curricular en una institución universitaria constituye uno de tipo externo.

En Ariza *et al.* (2018) se habla del rendimiento académico como una relación de costo-utilidad. Es un concepto por el cual, el estudiante invierte o destina un esfuerzo complejo. Entre los costes o aportes, se encuentran algunas características como la personalidad, la motivación y los intereses. En tal sentido, la utilidad se relaciona con los logros alcanzados. En todo caso, es una relación compleja que involucra multiplicidad de factores.

El rendimiento académico usualmente se asocia con las calificaciones (Pérez-Villalobos *et al.*, 2018). Con todo, el rendimiento académico se suele asociar con varias medidas. Entre ellas se encuentra el GPA (*grade point average* por sus siglas en inglés), reportes de los docentes o de los padres de familia sobre el comportamiento, los autoreportes de notas que hacen los estudiantes, etc. Además, cada institución puede tener variación en la forma en que realiza el cálculo numérico. Si se compara entre países, las diferencias pueden aumentar. Por lo tanto, como recalca el autor en Curcio *et al.* (2006), las comparaciones entre valores de rendimiento académico no siempre son posibles.

No obstante, el rendimiento académico basado sólo en las calificaciones se puede referir sólo a un criterio operativo. El rendimiento académico en su definición puede ser amplio y variado. Como indican Rodríguez-Rosero *et al.* (2021), refiriéndose al trabajo de Solano (2015), hace referencia al nivel de conocimientos y comprensión de una temática. Esta última se enmarca en una asignatura o un área que se evalúa y que va en línea con unos objetivos de aprendizaje. Además, involucra una comparación con otros estudiantes que se encuentran en el mismo grupo.

El rendimiento académico puede presentar variaciones en su concepción conforme un estudiante crece en edad. La lógica, las expectativas, el ambiente y entorno educativo cambian, por ejemplo, cuando los estudiantes ingresan a una universidad. En esta forma, el estudiante es el sujeto donde operan varios factores complejos (Rodríguez y Arenas, 2016). No obstante, en Rodríguez y Arenas (2016) se define el rendimiento académico como una demostración de la suficiencia de un estudiante para superar exitosamente los requisitos de un plan o currículo. La consecuencia de los logros en el proceso tendrá una valoración asociada. Así se está dando una medición a la aptitud y competencia para cumplir las exigencias en un plan académico. Además, se enmarca en una comparación que involucra la edad y el nivel académico.

El rendimiento académico aplica tanto a la educación tradicional como las iniciativas online que han aportado a la educación en general. Para ambos casos se asocia con el hecho de conseguir un buen

resultado en las distintas actividades académicas. Esto se refleja en un valor numérico o como un promedio acordado según la institución educativa (Broadbent y Poon, 2015).

En el rendimiento académico pueden influir varios factores. Entre ellos se pueden encontrar el nivel de escolaridad e ingresos familiares, las condiciones y ambiente de una institución educativa, la administración del tiempo de estudio y el contacto con la tecnología (Rodríguez-Rosero *et al.*, 2021). Uno de los elementos que influye positivamente es la administración del tiempo. Si los estudiantes logran organizar sus actividades de ocio y su trabajo académico, el desempeño se verá menos afectado (Pérez-Villalobos *et al.*, 2018). A pesar de lo anterior, Rodríguez-Rosero *et al.* (2021) cita algunos autores, quienes indican que un factor socioeconómico no siempre es determinante en el rendimiento académico.

No obstante, el estudiante podría verse beneficiado por estímulos positivos y constantes a lo largo del tiempo. También influyen las actitudes, hábitos y gustos propios. De ahí que los procesos pedagógicos busquen motivar al estudiante y aumentar el compromiso con su aprendizaje (Rodríguez-Rosero *et al.*, 2021). Este a su vez, es promovido por las acciones del docente que influyen al estudiante (Lamas, 2015). Entre otras de las estrategias para mejorar el rendimiento está la de mejorar la experiencia en la institución académica para que sea lo más atrayente posible (Duckworth *et al.*, 2019).

Por su parte, Duckworth *et al.* (2019) menciona al autocontrol (*self-control* en inglés) como un elemento clave para el buen rendimiento académico. En una etapa previa al autocontrol, es necesaria la motivación. El autor indica que el rendimiento académico es un resultado del nivel de autocontrol de un estudiante. Esto será útil para tratar con las múltiples distracciones que existen a lo largo de la vida académica. Si el estudiante no maneja adecuadamente los impulsos en el día a día, sus actividades académicas no serán ejecutadas normalmente. El manejo adecuado de estos impulsos, junto a aspectos como la planificación, hábitos y rutinas dará lugar a la realización de actividades menos satisfactorias en el momento, pero mejor recompensadas en un futuro o en un espacio de tiempo más amplio. El autocontrol puede estimarse usando instrumentos válidos con mediciones objetivas. Esto hace parte de los esfuerzos por parte de las universidades, para conocer los aspectos que impactan el rendimiento académico, y más aún, aquellos que lo hacen de forma positiva (Pérez-Villalobos *et al.*, 2018).

Desde un punto de vista médico, otro factor que se menciona es de tipo orgánico como patrones de sueño inadecuados que afectan la cognición, la memoria y la atención; todos ellos, componentes necesarios para la realización de actividades académicas (Curcio *et al.*, 2006). Otro hallazgo es el que relaciona la ansiedad. El autocontrol, como una conducta inmersa en la autorregulación, puede ayudar a que se preserve la cognición. Sin embargo, esta se puede ver afectada por la ansiedad. Este hallazgo se hizo en el área de matemáticas y compromete los logros de rendimiento académico (Pérez-Villalobos *et al.*, 2018).

Desde otro enfoque, el rendimiento académico se relaciona con las metas académicas y la personalidad del estudiante. En Jensen (2015) se habla acerca de los rasgos de personalidad (modelo *Big 5 traits*) y el aprendizaje. Un factor que incide en el rendimiento académico es el establecimiento de metas académicas. Se pueden distinguir las metas de aprendizaje y las metas de rendimiento o desempeño. Un estudiante que establece metas de aprendizaje, buscará dominar el área o competencia de conocimiento de su interés. Si las metas establecidas son de rendimiento, el aprendizaje también estará presente aunque la razón del mismo estará condicionada por la mirada de otras personas. Por lo tanto, el desempeño se convierte en el objetivo primario.

Siguiendo la idea anterior, entre los cinco rasgos de personalidad se encuentra la escrupulosidad o conciencia (*conscientiousness*). Este rasgo es el que más se asocia con un buen rendimiento académico. Quienes manifiestan este rasgo, según la revisión del autor, adoptan metas tanto de desempeño como de aprendizaje. Es el rasgo que más presenta correlación con un rendimiento académico positivo, aunque otros rasgos de personalidad también presentan mejoría en este sentido. El autor en este caso, ha tomado como medida el GPA (*Grade Point Average*) (Jensen, 2015).

Uno de los determinantes del rendimiento señalados por Lamas (2015) son los enfoques de aprendizaje. Estos se abordan como la mezcla de una intención y una estrategia. De esta forma, el estudiante que maneja un enfoque de aprendizaje superficial, tendrá como intención principal el obtener buenas notas. Su estrategia para ello podría ser, por ejemplo, lograr una apropiada memorización. Así, logrará un rendimiento académico exitoso, aunque apenas lo suficiente para cumplir un requisito. Por otro lado, si el estudiante maneja un enfoque más profundo, su motivación será más intrínseca y ocupará un esfuerzo importante en sus actividades. Buscará una satisfacción con ello y en consecuencia, es probable que su rendimiento académico sea alto. Estos enfoques ponen de manifiesto el valor que el estudiante le da a una tarea o asignatura. Su percepción junto con sus objetivos permitirá que él elabore sus estrategias y se genere un enfoque superficial o profundo según el caso.

Finalmente, es importante mencionar que la teoría de autorregulación aborda estrategias que se relacionan con los logros alcanzados y el rendimiento académico. No obstante esto es cierto para la educación tradicional, en Broadbent y Poon (2015) los autores mencionan que falta aún más evidencia para las iniciativas online. Con todo, los autores en su revisión muestran que las estrategias que abordan manejo del tiempo, meta-cognición, regulación del esfuerzo, pensamiento crítico tienen relación con el rendimiento académico. Como factores mediadores, podrían estar presentes la motivación o la autoeficacia. En suma, el rendimiento académico es un concepto que involucra multiplicidad de factores. Entre ellos se encuentran los personales, socioeconómicos y motivacionales que afectan el desempeño de un estudiante en su proceso formativo.

2.3. Laboratorios para el aprendizaje

Existen varias definiciones sobre el laboratorio en vista del alcance que ha tenido a nivel histórico y su utilidad en distintas disciplinas, ocupaciones y profesiones. No obstante, existen algunas generalidades que permiten precisar su naturaleza y su propósito. De acuerdo con las definiciones recogidas en Velosa (2020), un laboratorio se constituye como un elemento de importancia para la enseñanza tanto las ciencias básicas como en campos de tecnología e ingeniería. Permite atender a la necesidad de dotar a los estudiantes con habilidades técnicas (Esposito *et al.*, 2021). Dos grandes ámbitos donde se aplican son la educación y la industria. Busca integrar y conectar elementos de teoría y práctica. Sus beneficios comprenden mejoras en el dominio de la teoría y el razonamiento, desarrollo de habilidades prácticas y de trabajo en equipo. Permite obtener una nueva visión del área de estudio en comparación con el salón de clase tradicional (Zaldívar-Colado, 2019). El aprendizaje por experiencia es obtenido casi de manera exclusiva gracias al laboratorio (Bhute *et al.*, 2021). Allí los estudiantes pueden desarrollar las habilidades prácticas necesarias en futuras carreras en la industria o la academia (Bhute *et al.*, 2022). También pueden aprender de sus errores (Valencia de Almeida *et al.*, 2022). Además, pueden obtener otros beneficios como una mayor motivación en el aprendizaje y la consolidación de conceptos teóricos (Jiménez-Fernández *et al.*, 2020). En concreto, los laboratorios tienen gran impacto en el proceso y metas de aprendizaje de los estudiantes (J. Ma y Nickerson, 2006).

Se pueden diferenciar varios propósitos generales de un laboratorio. Para las instituciones de educación superior, Velosa (2020) indica 4 de ellos:

- **Formación:** son aquellos destinados a incrementar y mejorar las habilidades de los estudiantes en los distintos cursos de formación.
- **Investigación:** buscar el estudio de un fenómeno o situación para establecer relaciones, principios o relaciones entre variables.
- **Uso corporativo:** su uso permite la creación y desarrollo de productos o procesos. En otros casos, se realiza evaluación y verificación de estándares.
- **Otros servicios:** pueden ser muy variables, por lo cual comprende capacitación, demostraciones, mantenimiento, etc.

Un único laboratorio podría integrar 2 o más de los propósitos descritos.

En esta sección se hará referencia sobre todo a los laboratorios destinados a la educación de estudiantes de ingeniería. Por lo tanto, es pertinente mencionar las especificaciones técnicas más importantes para un laboratorio de ingeniería. Estas fueron recopiladas por Velosa (2020), apoyado en referencias a la organización de acreditación internacional ABET y conceptos del Ministerio de Educación en Colombia (MEN). Se listan algunos a continuación:

- **Realismo y control:** hace referencia al tipo de procesos y procedimientos del laboratorio. Es necesario que exista un buen nivel de coincidencia entre la práctica y el entorno real. Así mismo, es importante que el estudiante tenga un conocimiento y guía adecuados para la operación y seguimiento de práctica en el laboratorio.
- **Protección y seguridad:** deben contar con manuales, procedimientos y protecciones apropiados. La seguridad puede ser activa o pasiva. Se extiende a los equipos y software involucrado en la práctica.
- **Vigencia y pertinencia:** debe contar con elementos y recursos que estén normalizados y aptos para el uso en el contexto en el que se ubica el laboratorio. Esto involucra la aplicación de metodologías apropiadas acordes al propósito del laboratorio.

Los laboratorios se pueden clasificar según diversas características. Las modalidades de laboratorio que han aparecido producto de las necesidades educativas pueden ser presentadas en diversas formas. Debido a la evolución en el tiempo, se han agregado algunas funcionalidades que han dado nuevas formas al laboratorio. Se puede realizar una clasificación según la disponibilidad, accesibilidad, usabilidad y costos asociados a la implementación y mantenimiento (Velosa, 2020). En Aitor *et al.* (2022) se distingue una clasificación acorde a la localización (local o remoto) y la naturaleza del experimento (virtual o real). Otra clasificación está basada en la naturaleza del experimento. En esta última, algunas prácticas van a requerir que los estudiantes manipulen equipo de laboratorio. Otras en cambio necesitan una combinación de herramientas computacionales y equipo (Bhute *et al.*, 2021). Por otro lado, en Bhute *et al.* (2021) se habla del “modo de entrega” de las actividades que permitirán al estudiante aprender por experiencia. No obstante, la clasificación de laboratorios desde la presencialidad es la más extendida (Velosa, 2020).

La clasificación basada en la presencialidad puede presentar variaciones entre los distintos autores. Por ejemplo, Brinson (2015) hace una distinción entre *laboratorios tradicionales (TL) o Hands On (HO)*, *laboratorios no tradicionales (NTL)* y *laboratorios híbridos (LH)* tal como se observa en la Tabla 2-1. Espósito *et al.* (2021) recoge una clasificación similar. De cada uno de ellos se hablará en mayor detalle más adelante. Dentro de los NTL se encuentran los laboratorios virtuales (LV) y los laboratorios remotos (LR). En este documento se hará referencia a este tipo de clasificación. Otros autores no diferencian de forma puntual entre tradicional y no tradicional. Por ejemplo, en J. Ma y Nickerson (2006) se reconocen los laboratorios hands-on, laboratorios simulados y laboratorios remotos, seguido por Szöke (2022) y Valencia de Almeida *et al.* (2022). Allí también se habla de la combinación de modalidades como base para la conformación de un laboratorio híbrido (LH). Por su parte, Velosa (2020) y Alsaleh *et al.* (2022) presentan una clasificación similar a la de Brinson (2015), aunque distinguen dos modalidades de laboratorio virtual acorde a su ubicación: local y en la nube. Además, también presentan una subclasificación de los laboratorios híbridos, los *LaaS* y *flipped*. La diferencia radica principalmente en el experimento. En el híbrido de tipo *LaaS (Laboratory as a Service)* las modalidades se mezclan en un mismo experimento. En el híbrido *flipped* las modalidades se van activando de forma alternada. Otros

autores involucran a los híbridos en conjunto con los NTL, donde los llaman “métodos no tradicionales” de entregar al estudiante la experiencia para su aprendizaje (Bhute *et al.*, 2022). No obstante, existe un consenso generalizado sobre la diferencia entre laboratorio tradicional y no tradicional.

La clasificación de los laboratorios se puede observar de manera resumida en la Tabla 2-1.

Tabla 2-1.: Tipos de laboratorios según la presencialidad o modo de acceso, de acuerdo con la clasificación mostrada en (Brinson, 2015) y (Velosa, 2020).

CLASIFICACIÓN DE LABORATORIOS - Según la presencialidad	
Laboratorio Tradicional TL (Hands-on HO)	
HO	Los estudiantes desarrollan los experimentos de forma presencial, con los equipos necesarios presentes en el mismo espacio y momento.
Laboratorio No Tradicional NTL	
Virtual o simulado (LV)	Representación del experimento realizada a través de algunos medios técnicos computarizados. Provee simulaciones bien a través de software o de un recurso con acceso vía web
Remoto (LR)	Comparte con el TL la necesidad de contar con infraestructura en un determinado sitio, con equipamiento real, sólo que se encuentra a distancia del estudiante y es accesible en cualquier tiempo y lugar*.
Laboratorio Híbrido (LH)	
Combinación de cualquier tipo entre HO - LV - LR	Combinación de modalidades con el fin de reunir los beneficios de uno y otro. Puede proveer simulación y práctica con equipo real. Se presentan de modo <i>flipped</i> cuando se llevan a cabo prácticas de forma alterna. El modo <i>LaaS</i> (Laboratory as a Service), involucra la combinación de las modalidades en un mismo experimento o práctica.

*Dependiendo de las especificaciones técnicas y diseño del laboratorio

2.3.1. Laboratorios tradicionales (TL) o Hands-On (HO)

La primera categoría (TL o HO) consiste en una modalidad de laboratorio cuyo componente presencial es altamente valorado y necesario. El equipo necesario para la práctica y experimentación se encuentra en el sitio donde los estudiantes llevan a cabo la actividad de manera presencial (Brinson, 2015). También es llamado *face-to-face laboratory* (F2F) (Cossu *et al.*, 2022). Otros nombres son *In situ* y convencionales (Velosa, 2020).

Presentan varias ventajas reconocidas a lo largo de varios estudios. En general, son reconocidos por su eficiencia a la hora de adquirir y desarrollar habilidades de diseño (Szőke, 2022). El entorno y la naturaleza del trabajo con equipo real genera un flujo de información muy completo sobre el experimento (Brinson, 2015). Es una modalidad que ofrece interacciones entre personas que impactan el aprendizaje de los estudiantes. Potencia el trabajo colaborativo (Viegas *et al.*, 2018). Por ello, las interacciones que se generan allí, con sus docentes o instructores y entre los mismos estudiantes, son altamente apreciadas. La manipulación de los equipos y la posterior reflexión sobre los hallazgos mejora las habilidades de reporte de información (Cossu *et al.*, 2022).

Enfrenta algunos problemas de tiempo, espacio y recurso disponible para los estudiantes (Cossu *et al.*, 2022). Además, en ciertos casos no es fácil de escalar como en el área de robótica (Ackovska y Kirandziska, 2017). Puede llegar a presentar dificultades de seguridad para los asistentes (Steger *et al.*, 2020; Szőke, 2022). También, hace falta personal capacitado e instructores o docentes que supervisen las actividades realizadas allí (Velosa, 2020). Es por ello que se han suscitado iniciativas para complementar o incluso, reemplazar este tipo de modalidad.

Vale mencionar que los laboratorios hands-on pueden incorporar algunos elementos tecnológicos. De hecho, es posible que en algunos casos, la experiencia de un laboratorio HO sea similar a la de uno virtual o remoto. Esto se debe a que algunos experimentos se apoyan en un computador (J. Ma y Nickerson, 2006). En estos casos, la frontera entre modalidades se vuelve difusa, y es posible comenzar a hablar de laboratorios híbridos. Con todo, existen disciplinas como medicina donde la preferencia o necesidad de experiencias puramente hands-on es alta. El manejo de equipo médico es fundamental. La experiencia táctil y la interacción con los pacientes es menos susceptible de ser mediada por elementos tecnológicos (Bhute *et al.*, 2021).

Existen también los kits de laboratorio portables (Brinson, 2015). En ocasiones, los estudiantes pueden llevarlos a casa para continuar allí su experimentación. En este trabajo en concreto no se hará referencia a los mismos.

2.3.2. Laboratorios no tradicionales (NTL)

El avance tecnológico de los sistemas de comunicación y cómputo, ha permitido la transformación del entorno práctico educativo. Ha impulsado la creación de alternativas al laboratorio tradicional. La tecnología de la información ha cambiado las formas en que se generan los espacios de práctica para los estudiantes. Las redes de comunicaciones han multiplicado su alcance. Con ello, han surgido nuevas instituciones que imparten educación a distancia. Estas sólo pueden ofertar cursos prácticos si hay otras iniciativas más allá del laboratorio tradicional (Garijo y Senhadji, 2016). En consecuencia, las mejoras tecnológicas han impactado la educación vinculada a los laboratorios y las instituciones en general (Wei *et al.*, 2019).

Sobre la categoría NTL, se pueden distinguir laboratorios en modalidad *virtual o simulado (LV)* y modalidad *remota (LR)*, cuya principal característica consiste en no requerir la presencia física de los estudiantes (Velosa, 2020). En esta misma categoría se podrían clasificar los laboratorios híbridos, según el autor.

Los NTL pueden ofrecer beneficios interesantes. Algunos de ellos son flexibilidad de acceso geográfico o temporal, con tiempos de práctica extendidos en algunos casos (Aitor *et al.*, 2022). Pueden ofrecer la posibilidad de repetir los experimentos o modificarlos a voluntad en algunos casos (Brinson, 2015). Además, pueden ayudar a solventar el curso de las actividades académicas prácticas en situaciones fuera de lo ordinario. Así sucedió en 2020, en medio de la emergencia por COVID-19 y las sucesivas restricciones de movilidad en diversos países (Bhute *et al.*, 2022).

Laboratorio Virtual (LV)

El laboratorio virtual (LV) es una modalidad que se enmarca dentro de los laboratorios no tradicionales (NTL). También se conocen como laboratorios simulados (Velosa, 2020). De ahí parte su principal característica. J. Ma y Nickerson (2006) lo define como “imitaciones de experimentos reales”. Esta definición también es recopilada por Brinson (2015). Por lo tanto, se trata de un entorno virtual que describe y muestra adecuadamente un experimento. Pueden apoyarse en videos o simulaciones (Bhute *et al.*, 2021). En su forma más básica, consisten en un software con el cual los estudiantes pueden simular algún experimento o proceso (Ackovska y Kirandziska, 2017).

Algunos elementos virtuales se han ido incorporando al laboratorio virtual. Las animaciones que muestran procesos físicos o experimentales también hacen parte del laboratorio virtual. La realidad virtual (VR por sus siglas en inglés) es uno de ellos. Permite crear escenarios o entornos virtuales idénticos a los que se encuentran en la realidad. Existen plataformas comerciales disponibles para este propósito (Bhute *et al.*, 2021). La realidad aumentada (AR por sus siglas en inglés) es otro de estos elementos virtuales. Se suele combinar con otro tipo de modalidad como se muestra en Rodríguez-Gil *et al.* (2017).

Las ventajas del laboratorio virtual (LV) están relacionadas con el tiempo y la capacidad de acogida de estudiantes. Los recursos del laboratorio virtual tienen alta disponibilidad. Los recursos pueden ser utilizados en cualquier momento o en periodos de tiempo extendidos en comparación con el tradicional. También es accesible desde cualquier lugar acorde a las características y necesidades de conectividad o portabilidad de cada uno. Usualmente, se presenta al estudiante a través de una interfaz definida para ejecutar la práctica o experimento en particular (Mayoof *et al.*, 2020). Otra de sus ventajas es el costo. Aparte de los costos iniciales, no requiere mayor inversión futura en mantenimiento (Rodríguez-Gil *et al.*, 2017).

Entre las modalidades NTL, es la que ha presentado mayor acogida, en comparación con el laboratorio remoto. Por lo tanto, el laboratorio virtual está bastante presente en las instituciones educativas (Aitor *et al.*, 2022).

Existen algunas desventajas del laboratorio virtual. Una de ellas está asociada al realismo de la experimentación. Según Alsaleh *et al.* (2022), los estudiantes pueden percibir una falta de interés por la interacción en este tipo de laboratorio. Los objetos virtuales no existen en realidad, sino que están definidos a partir de modelos matemáticos. Los estudiantes pueden carecer de una buena comprensión acerca de las diferencias entre el entorno virtual y la realidad. Otra desventaja es la falta de libertad para modificar un ejercicio o experimento. Muchas veces los ejercicios vienen predefinidos y delimitados (Ackovska y Kirandziska, 2017). Una dificultad adicional se puede relacionar con la conectividad y el equipo necesario para ello. Si los elementos virtuales son complejos y consumen recursos, el costo del equipo se incrementará. Igual sucederá con los costos de acceso y alojamiento en la nube, en los casos requeridos (Bhute *et al.*, 2021). Esto impondrá un límite a la calidad de la simulación y el aprendizaje práctico que se obtiene del laboratorio (Valencia de Almeida *et al.*, 2022).

Existen varias formas de desplegar un laboratorio virtual. Está la opción de entregar algún dispositivo de almacenamiento o archivo al estudiante. Él realizará la instalación, ejecución o descarga correspondiente en su equipo. Otra forma es vía navegador web. En este caso, para el estudiante no importará mucho si la aplicación está alojada en la nube o en algún servidor local (Bhute *et al.*, 2021).

Laboratorio Remoto (LR)

Los laboratorios remotos (LR) presentan al estudiante una “realidad mediada” (Brinson, 2015). Se sustentan en equipo de laboratorio real que permite llevar el resultado del experimento desde su ubicación geográfica hasta la interfaz del usuario, típicamente mediante una cámara de video. Esto permite obtener datos que corresponden al proceso o resultado práctico en la realidad (Wei *et al.*, 2019). Este tipo de implementación usando equipo a distancia supera las limitaciones propias de la simulación de un experimento (Buitrago *et al.*, 2018). Por su parte, los computadores constituyen parte esencial del laboratorio remoto. Es el medio típico a través del cual los estudiantes manipulan el equipo de laboratorio a distancia (Wei *et al.*, 2019). La presencia de un instructor o guía no siempre es necesaria en esta modalidad.

El laboratorio remoto ofrece un grado importante de realismo. Retiene una de las ventajas del laboratorio tradicional como lo es la percepción de realidad (Viegas *et al.*, 2018). El nivel de realismo que proporciona es difícil de alcanzar con un laboratorio virtual o simulado. La interacción de los estudiantes con equipo real provee resultados reales y sobre todo, una percepción de interacción con el equipo de laboratorio más apegada a la realidad (Aitor *et al.*, 2022).

El uso de laboratorios remotos ofrece a los estudiantes mayores oportunidades de experimentación y trabajo individual. En comparación con el laboratorio tradicional, el estudiante puede practicar un número de veces superior. También aumenta el tiempo disponible para realizar el experimento (Viegas *et al.*, 2018). Así mismo, promueve el autoaprendizaje. Con todo, existen experimentos en los cuales los estudiantes pueden colaborar aún estando en distintas ubicaciones (Valencia de Almeida *et al.*, 2022). En ciertos entornos, podría fomentar en los estudiantes una mejor disposición y habilidad a la hora de trabajar en un laboratorio hands-on (Viegas *et al.*, 2018).

Se constituye como una alternativa para cubrir las necesidades educativas de comunidades en crecimiento (Viegas *et al.*, 2018). Tanto el laboratorio remoto (LR) como el virtual (LV) permiten un acceso más amplio debido a la disponibilidad de equipos en franjas horarias distintas a las dispuestas en el laboratorio tradicional o hands-on (HO) (Buitrago *et al.*, 2018). En otros casos, si el equipo de laboratorio presenta costos prohibitivos, el LR se convierte en una opción justificada (Moulay *et al.*, 2021).

El presupuesto alrededor de un laboratorio remoto puede constituirse en una ventaja. Los costos pueden ser comparativamente más bajos que los de entornos tradicionales. Se destaca su uso en los países en desarrollo. Gracias a esto, las instituciones educativas pueden constituir nuevos espacios de práctica basados en laboratorios remotos (Viegas *et al.*, 2018).

La conformación de laboratorios remotos puede contribuir a la colaboración entre instituciones. Históricamente, los laboratorios remotos han existido principalmente en el ámbito industrial. La expansión de internet ha permitido su introducción en la educación (Velosa, 2020). Esto favorece la posibilidad de asociación entre instituciones. Si una universidad cuenta con un laboratorio remoto amplio, puede satisfacer las necesidades propias y las de otras instituciones. De este modo, hay redes de instituciones que pueden compartir sus recursos sin invertir en laboratorios físicos o remotos adicionales (Mayoz *et al.*, 2020; Winzker *et al.*, 2018).

Existen algunas desventajas a tener en cuenta. El laboratorio remoto podría evitar que los estudiantes desarrollen habilidades de trabajo en equipo. Es usual que las tareas que se realicen usando esta modalidad sean realizadas de forma individual (Viegas *et al.*, 2018), aunque depende del contexto. Por otro lado, en vista de que sus recursos son compartidos, el acceso de usuarios debe ser bien planificado. Esto demanda una estructura y organización compleja (Velosa, 2020). Otra desventaja que puede surgir conforme avanza el tiempo es la falta de mantenimiento. Esto es particularmente cierto en los laboratorios de acceso libre. La falta de presupuesto o personal destinado a este fin puede resultar en cortes e indisponibilidades del servicio (Aitor *et al.*, 2022).

El laboratorio remoto tiene algunas desventajas en común con otras modalidades. Una de ellas es compartida con el laboratorio tradicional. Se trata de la escalabilidad. Sucede en casos en los cuales el laboratorio remoto fue concebido como un prototipo. Así, al igual que en el laboratorio tradicional,

es difícil que el sistema sea escalable a medida que aumentan las necesidades de recurso y atención de estudiantes (Aitor *et al.*, 2022). En otro caso, similar al laboratorio virtual, el laboratorio remoto aún retiene la desventaja de no trabajar plenamente en la realidad. Es decir, los estudiantes pueden llegar a percibir una cierta separación del entorno real. Eventualmente, esto los podría llevar a la falta de interés o compromiso con la experimentación (Alsaleh *et al.*, 2022).

Laboratorio Híbrido (LH)

La evolución de las modalidades de laboratorio previas ha suscitado varios cambios desde el punto de vista de la presencialidad. Varios elementos se han insertado en la práctica tradicional. En el área de control, por ejemplo, las simulaciones han complementado la práctica HO (Alsaleh *et al.*, 2022). Así, los laboratorios hands-on puros son difíciles de encontrar (J. Ma y Nickerson, 2006). La pandemia de COVID-19 aceleró estos cambios y con ello, ha impulsado la adopción de iniciativas híbridas. Sin embargo, es necesario revisar su eficacia en el aula. Esto traerá como fruto el aprendizaje de lecciones para el futuro. Se presenta la oportunidad de fomentar la innovación en este campo y su evolución (Bhute *et al.*, 2022).

La conveniencia de la acogida del laboratorio híbrido está presente desde hace varios años. La mayoría de autores ha indicado que la futura eficacia de los laboratorios se encuentra asociado a la combinación de modalidades (Alsaleh *et al.*, 2022; Brinson, 2015). De esta forma, las iniciativas híbridas podrían ayudar a balancear las particularidades en el aula de laboratorio (J. Ma y Nickerson, 2006). Se busca reunir las ventajas y beneficios que ofrece cada modalidad. Por ejemplo, Viegas *et al.* (2018) indica que el laboratorio virtual no permite desarrollar las competencias en un nivel similar al hands-on o el remoto. Una combinación bien planteada podría ser conveniente para los estudiantes.

Con lo anterior, la definición de laboratorio híbrido y sus características ya están planteadas. Acorde a lo que se trabajará en este documento, el laboratorio *híbrido* (LH) involucra dos o más modalidades (Velosa, 2020). Estas se integran para conformar una práctica organizada para los estudiantes. De esta forma se puede aprovechar las ventajas de cada una de ellas por separado. En un caso hipotético en el que se combinen las modalidades Hands-On, virtual y remota, se podrán obtener beneficios en la comprensión de conceptos y en las habilidades prácticas (Viegas *et al.*, 2018).

La conformación de un laboratorio híbrido (LH) es variada a medida que se recorren los puntos de vista de los autores. Velosa (2020) menciona que se puede constituir un laboratorio híbrido a partir de cualquier combinación de modalidades, tanto tradicionales (TL) como no tradicionales (NTL). Una categorización similar es discutida por Rodríguez-Gil *et al.* (2017) y Bhute *et al.* (2021), aunque no expresan puntualmente la distinción TL y NTL previamente mencionada. También se pueden formar laboratorios híbridos con base en la combinación de modalidades únicamente pertenecientes a laboratorios no tradicionales como los virtuales (LV) y los remotos (LR), en un contexto conformado como

laboratorios online (Lei *et al.*, 2018). Otros autores indican que las combinaciones para formar laboratorios híbridos tienen mayor sentido si se combinan elementos virtuales y equipos de laboratorio reales (Jurc *et al.*, 2020; Rodríguez-Gil *et al.*, 2017; Zapata-Rivera *et al.*, 2019). Por su parte, Bhute *et al.* (2021) mencionan que es habitual encontrar equipo real en las iniciativas híbridas. No obstante, la experiencia se puede complementar con elementos como AR (realidad aumentada), lo que a la larga involucra una muestra de la modalidad virtual. Además, en la búsqueda enriquecer el experimento, las fronteras entre uno y otro se vuelven difusas gracias a las características añadidas tales como realidad aumentada. En pocas palabras, no existe un consenso amplio sobre este tipo de clasificación.

No obstante lo anterior, una sub-clasificación mencionada por Velosa (2020) permite apreciar dos formas en las que se pueden combinar las modalidades:

- *LH - Flipped*: consiste en la adaptación de las modalidades de forma alternada. La práctica se realiza por etapas o en secuencia. Por ejemplo, los estudiantes pueden acceder a la modalidad virtual y luego complementar de manera presencial con el Hands-On.
- *LH - LaaS: Laboratory as a Service* se refiere a la mezcla o conjunto de modalidades de laboratorio en un mismo experimento o práctica. Las cualidades se entrelazan en un mismo momento para ofrecer al usuario una experiencia funcional. Se suele ofrecer a empresas y centros de investigación, pero también pueden estar disponibles en educación. Suelen involucrar una gran complejidad.

Finalmente, a modo de resumen, se presenta la Tabla 2-2, tomada de Rodríguez-Gil *et al.* (2017), la cual describe de forma general algunas características de los tipos de laboratorios. Existen algunas de ellas que se destacan en cada modalidad de laboratorio. No obstante, pueden existir casos particulares que alteren fuertemente esta valoración. Por ejemplo, si un laboratorio híbrido contiene un componente fuertemente hands-on y remoto, la experiencia de realismo será alta.

2.3.3. Consideraciones sobre la efectividad de las modalidades de laboratorio

La efectividad de los laboratorios puede ser abordada desde distintos puntos: técnico, educativo, financiero, etc (Wei *et al.*, 2019). Desde el punto de vista educativo, todas las modalidades de laboratorio tienen efectividad en la educación. Está por establecer si alguna de ellas es la más efectiva de todas, acorde a las circunstancias y contexto de aplicación (Rodríguez-Gil *et al.*, 2017). Por ello, la indagación en este campo busca establecer ciertos efectos de acuerdo con determinadas condiciones del contexto. El foco principal de la mayoría de investigaciones se ha centrado en el cumplimiento de objetivos de aprendizaje. Varios de los estudios han incursionado en la comparación entre modalidades TL vs. NTL (Wei *et al.*, 2019).

Tabla 2-2.: Comparativo de características de los distintos tipos de laboratorio. Tomada de Rodríguez-Gil *et al.* (2017)

COMPARATIVO DE ALGUNAS CARACTERÍSTICAS DE DISTINTOS TIPOS DE LABORATORIOS				
	Hands-on (HO)	Virtual (LV)	Remote (LR)	Hybrid (LH)
Realismo	Muy alto	Bajo	Alto	Medio
Puede alterar la realidad	No	Si	No	Si
Gastos periódicos	Alto	Bajo	Alto	Medio
Funciones aumentadas	No	Si	No	Si
Depende de elementos multimedia	No	Si	No	Si

No obstante, existen otros elementos que no han sido ampliamente abordados en los trabajos de investigación. Las evaluaciones de efectividad de los laboratorios pueden ser muy diversas (J. Ma y Nickerson, 2006). Algunos autores indican, por ejemplo, que las interacciones propias de un laboratorio enfocadas en el estudiante, han tenido poco estudio (Wei *et al.*, 2019). Sobre este último, se espera que existan diferencias en la efectividad entre los laboratorios tradicionales y los remotos (Wei *et al.*, 2019). Es un área de investigación activa. La interacción enfocada en el estudiante es solo un ejemplo de las múltiples variables cuyo tamaño de efecto puede ser evaluado. Además, esta es una de las recomendaciones de estudios previos, que indican que las evaluaciones de efectividad deben tomar en cuenta ciertos elementos que pueden influir o no en diversas variables (Brinson, 2015; Viegas *et al.*, 2018).

Estas configuraciones de laboratorios han sido evaluadas en mayor o menor medida desde el punto de vista educativo (Aitor *et al.*, 2022), con el fin de indagar acerca de las competencias y habilidades que los estudiantes podrían obtener en su interacción con los mismos.

¿Laboratorio TL mejor que NTL?

Existen algunas habilidades cuyo desarrollo notable se puede atribuir a una u otra modalidad. Algunas de ellas están más vinculadas a habilidades de tipo profesional o técnico. Otras podrían contribuir más a las habilidades blandas o *soft skills* (Alsaleh *et al.*, 2022). En general, estas últimas se pueden desarrollar en mejor manera gracias a los TL. Los patrones de trabajo asociados a los TL permiten un refuerzo de habilidades blandas mejorado en comparación con los NTL (Alsaleh *et al.*, 2022). Esto va en dirección de lo que se ha encontrado en algunos trabajos. Es un indicio de que los laboratorios virtuales y remotos no permiten desarrollar las mismas habilidades que los tradicionales (Viegas *et al.*, 2018). En principio, las modalidades NTL tienden a mostrar buenos resultados en habilidades téc-

nicas (Alsaleh *et al.*, 2022). Sin embargo, los TL permiten un aprendizaje que involucra los sentidos mucho más en comparación con los NTL (Ayodele *et al.*, 2015).

Algunas habilidades blandas relacionadas con las relaciones interpersonales y dominio psicomotor parecen ser más reforzadas a causa del trabajo con TL. El componente de trabajo individual parece ser influenciado en gran medida por los NTL. Sin embargo, en los TL, los estudiantes tienden a conformar grupos de trabajo debido a las restricciones de tiempo y número de equipos disponibles (Viegas *et al.*, 2018). Esto ayuda a reforzar las habilidades necesarias para el trato con los demás en una futura etapa profesional. Además, la educación tradicional ayuda a percibir mejor las experiencias táctiles en comparación con un laboratorio NTL (Bhute *et al.*, 2021). No obstante, Brinson (2015) indica que en algunos de los trabajos revisados, la percepción estudiantil sobre las habilidades prácticas adquiridas en un NTL fue superior al TL. En cursos de ciencias básicas esta cuestión parece seguir la misma tendencia. La interacción con NTL podría potenciar el aprendizaje de la temática. Sin embargo, la mejora en las habilidades de manejo de equipo gracias a los NTL está en entredicho (Rivera, 2016).

Los TL además proveen información de entornos auténticos. Los eventos inesperados como errores, demoras o imprecisiones en la medición dan al estudiante una comprensión detallada del entorno experimental. Tales detalles pueden ser disminuidos o eliminados por completo en los laboratorios NTL (Rodríguez-Gil *et al.*, 2017). Un ejemplo de ello se encuentra en el campo de las comunicaciones. Un laboratorio tradicional en esta área permite al estudiante conocer el equipamiento de redes físicas por lo que puede enfrentar problemas tales como un cable defectuoso. Es un problema trivial pero difícilmente se podrá apreciar en un laboratorio virtual (Jurc *et al.*, 2020). En el caso de ciencias básicas, el manejo de equipo especializado y los problemas que surgen en su manejo también son complicados de replicar en un laboratorio virtual (Son, 2016).

Vale la pena mencionar que el modo de recolección de datos o instrumento utilizado también influye. Por ejemplo, los TL son mejor valorados en trabajos soportados en datos cualitativos recolectados a partir de las percepciones tanto de estudiantes como de instructores (Brinson, 2015).

¿Laboratorio NTL mejor que TL?

Al igual que los TL, los NTL podrían potenciar algunas habilidades como resultado de su uso. Una de estas habilidades está relacionada con el aprendizaje de la temática. Con los NTL, los estudiantes pueden trabajar a su propio ritmo, repitiendo y ajustando la práctica cuando es posible. Por lo tanto, un NTL podría ayudar a promover un aprendizaje profundo (Viegas *et al.*, 2018). Pese a esto, dentro de los NTL se reconocen algunas diferencias de efectos. Los laboratorios remotos son más propicios para la comprensión de conceptos, en contraste con los laboratorios virtuales que son más idóneos para adquirir destrezas de diseño (Alsaleh *et al.*, 2022). En cuanto a los primeros, los laboratorios remotos poseen características que podrían inducir nuevas formas de trabajo, permitiendo a los es-

tudiantes complementar o consolidar sus competencias (Viegas *et al.*, 2018). De hecho, pueden ser una alternativa adecuada a los TL. Así lo indica Szőke (2022), debido a la comprensión de conceptos y objetivos educacionales que puede ofrecer de forma satisfactoria. En otros trabajos relacionados en Cuadros *et al.* (2021), se menciona que el tamaño de efecto encontrado es igual o mayor que los laboratorios Hands-On. A pesar de lo anterior, el autor indica que la información obtenida en estos trabajos no sigue un método sistemático adecuado.

Si bien los TL pueden llevar ventaja en las habilidades con los equipos y manejo de errores, esto no se cumple para toda práctica. Existen prácticas y experimentos en TLs que incorporan riesgos para los estudiantes. Sin embargo, un laboratorio virtual podría ofrecer un ambiente libre de estos riesgos. Esta puede ser una cualidad deseable en el trabajo con usuarios poco experimentados. El usuario puede repetir varias veces un experimento. Esto implicaría beneficios en la comprensión de la temática. Estos se podrían incrementar si dentro de los atributos del laboratorio se tiene, por ejemplo, la capacidad de rediseñar el experimento a voluntad (Son, 2016).

Los hallazgos sobre efectividad también comprometen la carrera a la que pertenecen los estudiantes. Es posible que los alumnos de ingeniería tengan preferencias por laboratorios físicos y tradicionales. Por su parte, los alumnos de licenciaturas parecen estar más cómodos con las iniciativas de laboratorios no tradicionales. Este es un hallazgo que pone de manifiesto la multiplicidad de factores que pueden intervenir, y sobre los cuales se pueden tomar mejores decisiones (Zaldívar-Colado, 2019). En el ámbito de biología, hay reportes de mejor desempeño de laboratorios NTL en lo que a las notas se refiere. Las notas obtenidas en un grupo de estudiantes que trabaja con un NTL virtual o híbrido pueden ser mejores en contraste con el TL. Incluso, los estudiantes pueden ver mejoras favorables en la actitud que tienen hacia las ciencias (Son, 2016).

Con lo anterior, no hay un consenso amplio sobre la efectividad superior de los NTL sobre el TL (Rodríguez-Gil *et al.*, 2017). Sin embargo, en algunos casos se menciona que los NTL pueden ofrecer resultados tan buenos como los TL (Brinson, 2015). En otros, los resultados podrían ser incluso superiores (Aitor *et al.*, 2022). Una muestra de ello es lo mostrado en Brinson (2015), donde los NTL presentan aceptación positiva cuando el enfoque está orientado al cumplimiento de objetivos enmarcado en la categoría de conocimiento y comprensión de contenidos. En consecuencia, se puede decir que el clima de aceptación de los NTL en general es positivo. Los objetivos de aprendizaje pueden ser cumplidos exitosamente en igual o mayor medida en comparación con los TL (Brinson, 2015). Otros simplemente ven los NTL como complementos o herramientas que pueden ayudar en el proceso experimental (Esposito *et al.*, 2021). A pesar de esto, hay diferencias en las metodologías y métodos para medir la eficacia de los laboratorios, por lo que persisten desacuerdos en este sentido (Brinson, 2015).

De manera particular, los distintos trabajos realizados sobre el tema han generado que cada modalidad pueda tener ciertas características sobre su efectividad. Aparte de los factores tecnológicos, existen algunos otros que influyen en la efectividad de un laboratorio no tradicional NTL. La relación

del estudiante con sus pares o sus docentes afecta el aprendizaje. La naturaleza de las interacciones y la percepción que el estudiante tiene de los recursos de laboratorio puestos a su servicio (J. Ma y Nickerson, 2006). No obstante, en otros casos resulta posible elegir entre un laboratorio Hands-On y uno virtual sin mayor inconveniente. Algunos hallazgos para grupos concretos como el de Steger *et al.* (2020) muestran una ligera ventaja del laboratorio tradicional sobre el virtual. No obstante, los autores recalcan que el resultado no es estadísticamente significativo. Así que, para un mismo escenario y temática de práctica, depende de los instructores presentar adecuadamente la modalidad de laboratorio que se haya escogido en estos casos.

Una efectividad como complemento de modalidades: el laboratorio híbrido (HO)

Más allá de ver cuál es la modalidad más efectiva, una vía de trabajo que surge es la combinación de modalidades (J. Ma y Nickerson, 2006). Acorde a Ayodele *et al.* (2015), no deberían verse como competidores, sino como vías de trabajo que pueden complementarse. Se cree que la combinación de HO-LV-LR es la que más beneficios entrega a los estudiantes (Viegas *et al.*, 2018). A pesar de ello, los resultados de las iniciativas híbridas que alternan modalidades son mixtos. Existe un campo en camino de exploración. El consenso requerirá de mayor investigación acerca de las prácticas y métodos actuales (Brinson, 2015).

Con todo, estas características deben ser tomadas con cuidado, dado que los estudios presentan variaciones en sus resultados. Hay muchas variables involucradas que aún están por evaluar en futuras investigaciones. En algunas de ellas falta una visión amplia transversal a varias modalidades (Alsaleh *et al.*, 2022). Para ilustrar, una de ellas corresponde a las interacciones entre el aprendiz y su entorno (laboratorio, elementos, docentes, compañeros) (Wei *et al.*, 2019). En Esposito *et al.* (2021) se recoge la falta de un estándar común para evaluar la efectividad del trabajo en laboratorio. A pesar de lo anterior, los diversos hallazgos pueden dar pautas consistentes sobre los beneficios que aplican en las distintas modalidades.

2.3.4. Importancia de los laboratorios en el ámbito STEM

Las carreras que pertenecen al ámbito STEM (*science, technology, engineering, mathematics*) necesitan del laboratorio y sus beneficios. Los laboratorios permiten a los estudiantes incrementar su aprendizaje por experiencia. Así mismo, para los estudiantes de estas carreras es imprescindible la adquisición de habilidades al interactuar con los equipos de laboratorio para aprovechar la percepción de información táctil que podría ofrecer cada una de las modalidades, en particular la tradicional (HO). Esto genera beneficios en los dominios psicomotor y cognitivo (Bhute *et al.*, 2021). También permiten desarrollar el interés y la motivación, habilidades en solución de problemas y la aplicación del conocimiento en la vida real (Abdulwahed, 2010).

Las carreras STEM han tratado de aprovechar el potencial y beneficios tangibles de los NTL. La pandemia y consecuente confinamiento derivado de la amenaza del COVID-19 ha impulsado en gran manera el acceso a nuevas realidades de laboratorio, usando los medios tecnológicos de los que se puede disponer según el contexto alrededor del mundo (Mamani *et al.*, 2021). Una de las habilidades que podría beneficiarse de ese potencial es la creatividad. Dentro de los NTL, los laboratorios virtuales y remotos podrían entregar beneficios para incrementar la creatividad. Esta se ha convertido en una de las habilidades clave en el futuro profesional de los estudiantes en el siglo XXI (Terkowsky *et al.*, 2022). Las diferencias en el estilo de aprendizaje es otra cuestión a la que pueden aportar las nuevas iniciativas. Así, el laboratorio híbrido (LH) permitiría abordar de manera más adecuada las diferencias en el estilo de aprendizaje a nivel individual, debido a las múltiples formas de experimentación o combinación de modalidades de laboratorio que se pueden conformar (Krnetá *et al.*, 2012).

La efectividad e información sobre los laboratorios aplicados en STEM sigue la misma línea general de laboratorios antes discutidos. Se han registrado hallazgos que respaldan el uso del laboratorio hands-on (HO) por su efectividad (Ackovska y Kirandziska, 2017; Steger *et al.*, 2020), así como también se ha encontrado que los laboratorios NTL pueden igualar o incluso superar la efectividad de los tradicionales hands-on (HO) (Aitor *et al.*, 2022). Esta diferencia en resultados también se puede evidenciar en la evaluación de algunos laboratorios remotos LR acorde al trabajo de Cuadros *et al.* (2021). Además, allí se indica que para laboratorios de física y electrónica, la información no ha sido sistemáticamente obtenida ni analizada de forma apropiada. Si se toma en cuenta los laboratorios híbridos, al ser más recientes y tener posibilidades de desarrollo de nuevas arquitecturas con temáticas involucradas en su diseño como gamificación, cooperatividad entre usuarios y demás, la información resultante puede ser aún más dispersa o en ciertos casos, inexistente (Rodríguez-Gil *et al.*, 2017).

Finalmente, un aparte especial para ingeniería. El laboratorio es el elemento que permite a los estudiantes percibir la realidad de un concepto y aprender las interacciones con la naturaleza. Desde la perspectiva de la solución de problemas, el trabajo en el laboratorio permite a los estudiantes mejorar su razonamiento en este aspecto (Touhafi *et al.*, 2016). En este campo, son los laboratorios tradicionales los que son preferidos para el aprendizaje (Cossu *et al.*, 2022). Viegas *et al.* (2018) indica que los “ingenieros necesitan experimentar o palpar su interacción con el fenómeno real”. No obstante, los NTL, que han visto incrementado su uso en carreras STEM, han tenido gran acogida en ingeniería. Una de las ventajas está en el hecho de que estos laboratorios pueden ser usados en varias asignaturas (Esposito *et al.*, 2021). Por lo tanto, la tendencia de uso de laboratorios en ingeniería busca combinar las ventajas. Su modo y forma de aplicación depende de los hallazgos presentes y a futuro. Algunos autores indican que la mejor opción de laboratorio es aquella que equilibre apropiadamente una mezcla de laboratorio hands-on y virtual (Esposito *et al.*, 2021). En todo caso, desde hace ya algunos años, los autores han indicado que la mejor opción en ingeniería sería la iniciativa híbrida (Abdulwahed y Nagy, 2013).

2.3.5. El laboratorio en electrónica digital

El flujo de trabajo tradicional en electrónica digital comprende esencialmente las etapas de simulación e implementación. La simulación permite colocar en orden la lógica del diseño y corregir errores con anticipación. En la siguiente etapa se implementa el diseño y se realizan las pruebas de funcionamiento. Esta última se realizaba usando elementos como placas de pruebas (*breadboard* o *proto-board*), cables de conexión y CI (circuitos integrados). Estos podrían ser integrados discretos de la serie TTL 74 o CMOS 4000 (Saiz-Vela *et al.*, 2020). En años recientes se siguen usando en algunas prácticas de electrónica digital. En estos casos, se ha querido preservar la experiencia hands-on que puede ofrecer, sobre todo en diseños a baja escala (Yuchao *et al.*, 2019).

Algunas de las dificultades típicas que se presentan con estos elementos estaban relacionadas con el cableado. Las pruebas también presentaban problemas. A mayor cantidad de elementos, más complejo se hacía el proceso de trabajo en laboratorio. En la mayoría de los casos el tiempo de laboratorio no era suficiente para evaluar y discutir en conjunto las dudas e interrogantes de los estudiantes (Saiz-Vela *et al.*, 2020). Así, la probabilidad de errores en la práctica aumentaba y el estudiante podría responder de forma negativa al proceso de aprendizaje (Yuchao *et al.*, 2019).

Debido a lo anterior, un dispositivo comenzó a tener su lugar de forma frecuente en los laboratorios de electrónica digital. Se trata de FPGA (*Field-Programmable Gate Array*) que se constituye como un dispositivo programable, que procede de otras familias de lógica programable como los GAL, PAL, CPLD, etc (Song *et al.*, 2020). Las FPGA son herramientas versátiles para el diseño digital. Es un dispositivo reconfigurable por lo cual permite realizar pruebas de cualquier diseño digital. Es decir, se puede construir circuitos digitales sin mayor inconveniente (Mohsen *et al.*, 2019). Las FPGA se encuentran en algún punto entre los microprocesadores y los circuitos de aplicación específica (ASICs por sus siglas en inglés). El microprocesador puede programarse cualquier cantidad de veces, pero su hardware es poco o nada modificable, mientras que un ASIC posee un gran poder de proceso en paralelo. En cierta medida, una FPGA logra ambas cosas. Para ello, se deben ordenar los recursos disponibles en la FPGA usando uno de los lenguajes de descripción de hardware (HDL). Los más conocidos Verilog y VHDL (*Very High Speed Integrated Circuit Hardware Description Language*) (Magyari y Chen, 2021). Así, a través de un software y un lenguaje se puede reconfigurar cada vez con un diseño distinto (Song *et al.*, 2020).

De esta manera que, en muchos casos, aquellas prácticas a pequeña escala con integrados de la serie 74 han dado paso a la práctica con FPGA (Yuchao *et al.*, 2019). Su costo ha ido disminuyendo, por lo cual permiten implementar y probar diseños un tanto complejos a un precio razonable (Nelson *et al.*, 2021). Es una metodología que genera beneficios en el estudiante. Los estudiantes ven esta forma de trabajo bastante práctica y atractiva (Jimenez-Fernandez *et al.*, 2020). El software CAD, aunque usualmente es fabricado por empresas corporativas, permiten la realización de diseños a nivel universitario sin mayor problema (Nelson *et al.*, 2021). Las tarjetas de desarrollo con FPGA tienen periféricos para complementar la experiencia de implementación. Esto permite observar mejor las entradas y salidas

del diseño digital. Pulsadores, botones, displays, puertos de entrada y salida I/O de propósito general son algunos de ellos (Jimenez-Fernandez *et al.*, 2020). En consecuencia, los estudiantes pueden acceder a estos dispositivos de tal forma que pueden llevar a cabo procesos experimentales reales en un dispositivo físico con posibilidades de revisión y verificación en el laboratorio (Petrescu *et al.*, 2015).

Un apartado igualmente importante es el de la pertinencia del trabajo con FPGA para los futuros profesionales. Los beneficios de la experiencia de trabajo con FPGA en el laboratorio se extienden más allá de la experimentación en la universidad. La práctica profesional exige experiencia en el campo de trabajo con FPGAs (Mohsen *et al.*, 2019). Algunos procesos a escala industrial involucran procesamiento de imagen y se apoyan en despliegue de aplicaciones con FPGA. Entre ellas también se cuentan el procesamiento digital de señales, aprendizaje de máquina, visión de máquina o proceso de imagen y minería de datos, entre otras (Magyari y Chen, 2021). Por lo tanto, se reconoce una necesidad de personal cualificado con conocimientos en implementación en este tipo de dispositivos (Nelson *et al.*, 2021) y en general, con experiencia en el flujo de diseño que involucre esta clase de dispositivos (Mohsen *et al.*, 2019). De allí también se requiere la comprensión y entendimiento del diseño en un HDL como parte integrante del flujo de diseño típico.

Un factor añadido que ha influido en la aceptación de las FPGA es el de las iniciativas de desarrollo libre. El movimiento *maker* ha hecho énfasis en el acceso libre a herramientas de diseño digital. Un ejemplo de ello se dió en 2015, donde a través de ingeniería inversa se creó el proyecto IceStorm. Así se generó todo un set de herramientas de software para trabajar en FPGAs de marca Lattice. También ha dado lugar a una serie de nuevas tarjetas de desarrollo FPGA con precios aún más bajos para contribuir a este ecosistema (Saiz-Vela *et al.*, 2020).

La pandemia de COVID-19 aceleró algunos procesos de adopción de laboratorios NTL en electrónica. Inicialmente, los estudiantes cimentaron su aprendizaje en simuladores digitales. Debido a la imposibilidad de implementar los diseños, en ciertos casos se presentó frustración en los actores educativos (Valencia de Almeida *et al.*, 2022). Esto llevó al desarrollo de iniciativas virtuales y remotas como LaBEAD con FPGA remota (Valencia de Almeida *et al.*, 2022).

Con lo anterior, la práctica en el laboratorio digital se ha ido transformando y complementando con las nuevas tecnologías. La evolución en las comunicaciones y la instrumentación se han introducido como parte de la infraestructura de las instituciones educativas. A su vez, la educación en ingeniería eléctrica y electrónica puede presentar ciertas restricciones de recursos de laboratorio. Estos recursos suelen ser costosos, necesitan mantenimiento y en ciertos casos, una constante provisión de insumos (Zhu y Howell, 2023). Esto puede afectar por ejemplo, el estudio autónomo, entre otros. En consecuencia, los laboratorios virtuales y remotos han tenido ocasión de establecerse allí. En electrónica, las asignaturas prácticas han podido valerse de estas opciones (Moulay *et al.*, 2021). No obstante, en el área de electrónica digital, se ha valorado altamente la práctica *hands-on*. La implementación con dispositivos físicos reales a lo largo de los últimos años ha estado presente en muchas prácticas de

laboratorio (Gomez-Gonzalez *et al.*, 2022). La adopción de laboratorios NTL remotos ha sido mayor que los virtuales pues ofrece un mayor realismo en la práctica (Aitor *et al.*, 2022).

Las consideraciones sobre la efectividad educativa son pertinentes para el laboratorio en electrónica digital. Una de las preguntas abordadas en Valencia de Almeida *et al.* (2022) estaba vinculada a la posibilidad de reemplazo del laboratorio tradicional por uno remoto. Una vez que finalizó la experiencia, los autores mencionaron que esto si es posible. Incluso hubo una pequeña mejora en comparación con el periodo anterior que se realizó en modalidad tradicional en un laboratorio de electrónica digital. Al parecer el avance tecnológico podría ir cerrando la brecha entre TL y NTL. Por ejemplo, para temática de electrónica analógica, algunos hallazgos iniciales indicaban que los laboratorios remotos no eran muy adecuados. Los avances técnicos han permitido cambiar un poco esta idea (Moulay *et al.*, 2021). Es relevante destacar que algunas herramientas que han sido típicas del laboratorio de electrónica digital se han incorporado de forma efectiva en asignaturas de Ingeniería de Computación. En el área de arquitectura de computadores se ha visto una contribución positiva al aprendizaje activo (learning by doing) mediante la interacción de los estudiantes con el laboratorio hands-on (HO) (Cifredo-Chacón *et al.*, 2015).

Finalmente, es importante mencionar otras soluciones que se han aplicado al laboratorio de electrónica digital. Una solución que se abordó fue la del uso de simulación como único recurso. Si bien ya formaba parte del flujo de trabajo en la primera etapa, uno de los problemas que trae consigo es la falta de certeza en la funcionalidad del diseño. Este problema surge cuando el código escrito en un HDL se comporta bien en simulación pero al implementar se observa un efecto distinto (Materzok, 2019). Además, si el diseño es complejo, la simulación tomará más tiempo y recursos para su fin (Mohsen *et al.*, 2019). La decisión de dejar la práctica basada en simulación dependerá en gran medida del alcance establecido por el instructor o institución educativa. En algunos otros casos, los instructores han buscado la forma de implementar los circuitos sin que haya mediación de un HDL. El ejemplo de LogicCircuits permite diseñar y probar los circuitos de forma gráfica. EL usuario puede realizar la implementación en FPGA gracias a la opción de exportar código VHDL. No obstante, debe seguir las etapas de diseño y limpieza de código en caso que el software EDA arroje algún error (Haase, 2022). De este modo, se efectuó un recorrido básico para ilustrar algunos elementos en el laboratorio de electrónica digital. La decisión de ajustar la práctica basada en simulación o herramienta concreta dependerá en gran medida del alcance establecido por el instructor o institución educativa.

2.4. Trabajos relacionados

Los laboratorios para el aprendizaje presentan varias ventajas que permiten resolver algunas necesidades de los estudiantes. En la búsqueda de mayores ventajas, se han diseñado y construido nuevos laboratorios en sus distintas modalidades. En particular, los laboratorios NTL han visto incrementa-

do su número (Bhute *et al.*, 2021). En consecuencia, las iniciativas que se relacionan en esta sección pueden incluir la descripción de su construcción y puesta en marcha. Otros incluyen algún tipo de validación adicional. En ciertos casos, se ha preguntado a los estudiantes por su percepción general o sobre algunas características puntuales. También se han buscado sugerencias para la mejora del laboratorio. En menor proporción, algunos trabajos han incorporado preguntas de investigación que relacionan alguna variable o área específica. Así mismo, han hecho uso de algún instrumento o metodología estructurada.

En la Tabla 2-3 se encuentran varios de los trabajos objeto de esta revisión. Se han agregado varios más que ayudan a ilustrar y explorar el campo de iniciativas de laboratorios no tradicionales. Allí se observa una cantidad de laboratorios importante para el área de electrónica, y se destaca que en su mayoría corresponde a laboratorios remotos. Un detalle importante acerca de los laboratorios NTL de esta exploración es el uso de internet. La mayoría de ellos son de tipo *web-based*, cuyo despliegue de información se genera bien sea a través de una cámara de vídeo o mediante un escenario virtual acorde a las características del laboratorio y su experimentación.

Varios de los trabajos sobre laboratorios NTL están orientados hacia la descripción de su arquitectura y detalles constructivos. En algunas ocasiones, se presentan con alguna evaluación a modo de complemento sobre la acogida de estas iniciativas por parte de los estudiantes. Ejemplos de ello son los trabajos de Morgan *et al.* (2011) y Materzok (2019). Además, pueden incluir verificaciones de algunas características como la capacidad de usuarios, migración de servicios a la nube, velocidades de conexión para laboratorios NTL, las temáticas que pueden cubrir, etc. Algunos ejemplos de ello son Magyari y Chen (2021), Morgan *et al.* (2018), Oballe-Peinado *et al.* (2020) y Toyoda *et al.* (2016).

Por su parte, en otros trabajos se han incorporado valoraciones vinculadas al aspecto educativo de los laboratorios remotos. Algunos trabajos son los de Winzker *et al.* (2018), Kalantzopoulos *et al.* (2013) y Monzo *et al.* (2021). En ellos se muestran algunos resultados de las percepciones de los estudiantes, a modo de complemento de aspectos técnicos. Las conclusiones han mostrado una generalidad que apunta a una percepción positiva sobre los laboratorios remotos. Algunos resultados muestran un incremento en la motivación por usar el laboratorio más allá del tiempo de práctica estándar. Otros resultados positivos se asocian a la comprensión de conceptos y una experiencia de uso satisfactoria por parte de los estudiantes.

Asimismo, se reportan esfuerzos que se han enfocado en incrementar las prestaciones y confiabilidad de los laboratorios remotos (Aitor *et al.*, 2022). La actualización de aquellos que han estado en servicio también ha sido un tema de interés para que permanezcan en el tiempo. Un ejemplo es el mostrado en Viegas *et al.* (2018), donde se ha destacado la importancia de los LR para los estudiantes, involucrando su percepción del aprendizaje y satisfacción al interactuar con estas herramientas. Otras líneas de investigación van más allá del uso práctico de los laboratorios remotos, como la exploración de las interacciones de los estudiantes con la herramienta y su entorno (Wei *et al.*, 2019).

Tabla 2-3.: Laboratorios en distintas modalidades, para el aprendizaje de diversas temáticas. Se destaca el buen número de iniciativas en el área de electrónica digital.

Referencia	Tema/área de aplicación	Tipo de lab
Abdulwahed, 2010	Control de procesos	Híbrido
Morgan <i>et al.</i> , 2011	Digital design and implementation	Remoto
Henke <i>et al.</i> , 2014	Prototyping, verification of digital systems	Híbrido
Ayodele <i>et al.</i> , 2015	Microcomputer Hardware and Software Techniques (VHDL)	Remoto
Barak <i>et al.</i> , 2016	Digital system design 1	HO, Remoto*
Fujii y Koike, 2017	IoT experiments	Remoto
Rodríguez-Gil <i>et al.</i> , 2017	Digital electronics course	Híbrido
Lei <i>et al.</i> , 2018	Control research and engineering education	Híbrido
Zapata-Rivera <i>et al.</i> , 2019	Logic Design	Híbrido
Mohsen <i>et al.</i> , 2019	Digital design	Remoto
Materzok, 2019	Digital circuit design	Virtual simulator
Winzker y Schwandt, 2019	Power consumption, image processing - Digital design	Remoto
Solikhin <i>et al.</i> , 2019	Electroquímica	Virtual
Steger <i>et al.</i> , 2020	Battery lessons basics	Virtual simulations
Oballe-Peinado <i>et al.</i> , 2020	Digital electronics	Remoto
Mayoof <i>et al.</i> , 2021	Digital and Analogic electronics	Híbrido
Magyari y Chen, 2021	Digital design	Remoto
Monzo <i>et al.</i> , 2021	Telecommunications - Digital Electronics (VHDL)	Remoto
Flores <i>et al.</i> , 2021	Digital Design course	Remoto
Luse <i>et al.</i> , 2021	802.11 technologies	Virtual
T. X. H. Huang <i>et al.</i> , 2021	Electrical engineering	Remoto
Valencia de Almeida <i>et al.</i> , 2022	Digital electronics	Remoto
Aitor <i>et al.</i> , 2022	Basic and digital electronics	Remoto
Alsaleh <i>et al.</i> , 2022	Control engineering	Framework**
Szõke, 2022	Stability Wind Tunnel lab	Híbrido
Cossu <i>et al.</i> , 2022	Environmental Fluid Mechanics	Híbrido

* La funcionalidad remota fue desarrollada con posterioridad

** Framework para integrar varias modalidades

En algunos casos, los trabajos han abordado estos temas considerando las necesidades y procesos pedagógicos tanto de los instructores como de los estudiantes (Aitor *et al.*, 2022). Otros han sido enriquecidos con elementos que mejoran la experiencia. En Martin *et al.* (2020), se presentan recursos para el aprendizaje basado en herramientas para plataformas móviles y realidad aumentada. El usuario puede interactuar con los elementos básicos de electrónica digital y obtener resultados de simulaciones a partir de su interacción con las entradas. Por su parte, el trabajo de Bhute *et al.* (2022) expone un laboratorio remoto con intermediación de asistentes y realidad aumentada. Otro ejemplo reportado por Zapata-Rivera *et al.* (2019) contiene elementos posicionados de manera remota, en conjunto con realidad virtual y realidad aumentada para enriquecer la experiencia.

En otros casos, la validación de un laboratorio remoto ha involucrado otros instrumentos como test y cuestionarios. Como muestra de ello, en Ayodele *et al.* (2015) se habla sobre el *Advanced Digital Lab based* para el área de electrónica digital. Involucra dispositivos FPGA que permiten la implementación de máquinas de estado finito usando un HDL. En su metodología usaron 5 grupos, uno de los cuales fue un grupo control. Se aplicaron test antes y después de actividades de laboratorio. En sus resultados, se obtuvo una mejora apreciable en el desempeño académico con significancia $p < 0.05$. Además, indican que el laboratorio remoto puede ser casi tan efectivo como la modalidad tradicional, enmarcado en la enseñanza de electrónica digital. Otros hallazgos señalan la viabilidad económica de estas iniciativas, aunque los costos se acercan al de un laboratorio tradicional. Una apreciación que resaltan los autores es que los laboratorios remotos no compiten con los tradicionales. Más bien pueden ser vistos como un complemento, puesto que se combina aprendizaje cinestésico y táctil de la modalidad tradicional con el acceso flexible de la modalidad remota.

Con todo, las bondades de los laboratorios tradicionales son apreciadas en gran manera, por ejemplo, en el área de robótica. En Ackovska y Kirandziska (2017), se han encontrado beneficios en el rendimiento y en las habilidades obtenidos por los estudiantes, al realizar ejercicios de robótica en el laboratorio HO. En otra experiencia descrita en Steger *et al.* (2020), los estudiantes presentaron un desempeño superior en los test realizados, aunque los autores indican que es necesario realizar más investigación, dado que el efecto observado en realidad fue pequeño.

A partir de lo anterior, se ha ido configurando la integración de las modalidades en laboratorios híbridos (LH). Los laboratorios híbridos se han creado a partir de la combinación de modalidades buscando que se produzca un complemento entre ellas con el fin de aprovechar sus ventajas (Alsaleh *et al.*, 2022). Sin embargo, su evaluación no sigue un criterio estándar en la medida en que la construcción, tecnologías y modo de aplicación de los laboratorios híbridos posee gran heterogeneidad (Esposito *et al.*, 2021).

En diversos campos y áreas del conocimiento, los laboratorios híbridos han tenido una apreciación positiva. Por ejemplo, en el área de ingeniería aeroespacial, se presenta una experiencia de un túnel de viento (SWT-*Stability Wind Tunnel*). Se constituyó un laboratorio híbrido incorporando medios de

videotransferencia y expertos guías para la presentación del laboratorio tradicional. Los estudiantes dieron una respuesta positiva a las preguntas sobre la experiencia, no obstante se menciona el interés por mantener las sesiones de laboratorio presencial como un componente fuerte de la práctica (Szóke, 2022). En el trabajo de Son (2016) se muestran ventajas de un laboratorio híbrido de tipo virtual + hands-on en el área de biología. El beneficio para los estudiantes resultó en mejores calificaciones y, en general, una actitud positiva hacia el campo del conocimiento en el cual se encuentran inmersos. Otros resultados positivos han sido observados en mecánica de fluidos (LV-HO; Virtual y Hands-on) (Cossu *et al.*, 2022), control de procesos (LR-LV-HO; Remoto, Virtual y Hands-on) (Alsaleh *et al.*, 2022; Lei *et al.*, 2018).

En el campo de la ingeniería eléctrica y electrónica, una iniciativa fue el Trilab. Involucró tres modalidades: hands-on, virtual y remoto. El área de trabajo fue control de procesos. La idea fue evaluar la diferencia entre dos grupos, control y experimental, en relación con objetivos de aprendizaje de dos prácticas de laboratorio. En el grupo experimental, se trabajó con el laboratorio híbrido con sus tres modalidades. El orden de aplicación fue inicialmente el laboratorio virtual a modo de preparación, seguido por el hands-on, para posteriormente finalizar con el remoto. Se realizaron tests que abordaron dimensiones de comprensión y transformación del conocimiento. Como resultado, se obtuvo un mejor desempeño en el grupo experimental. También se encontró beneficio en la motivación por proseguir la experimentación usando la modalidad remota (Abdulwahed, 2010).

Acerca de las experiencias que involucran en alguna medida interacciones FPGA y/o HDL se encuentran las de Winzker y Schwandt (2019) y AbuShanab *et al.* (2018). Sobre esto, se mencionan resultados positivos de incorporar el *FPGA Vision remote* como complemento a las prácticas presenciales. Fue un elemento válido para los estudiantes para el desarrollo de sus actividades de laboratorio, acorde a sus percepciones. En otros casos se indagó sobre la posibilidad de reemplazar las prácticas Hands-On por su análogo remoto. Las respuestas en su mayoría no apoyaron un reemplazo total de la modalidad Hands-On, sino solamente algunas de las prácticas. Esto se configuraría como un laboratorio híbrido de tipo *flipped*, conforme a las clasificaciones dispuestas en el trabajo de Velosa (2020). Además, se encontró que aquel grupo con disponibilidad de laboratorio remoto obtuvo un cumplimiento mayor de objetivos de aprendizaje, en comparación con el grupo que sólo tuvo la modalidad hands-on disponible.

Otro ejemplo de laboratorio híbrido cuya incorporación de FPGAs es descrita en sus experiencias es el *FPGA Watertank* (Rodríguez-Gil *et al.*, 2017). Este es un laboratorio con características de realidad aumentada, para enriquecer los experimentos de procesos industriales realizados de manera remota. Como validación se aplicó a los estudiantes una encuesta de percepción. En ella se preguntó por el potencial de los laboratorios híbridos y la satisfacción con el laboratorio híbrido en cuestión. La percepción de los estudiantes permite inferir que la iniciativa ha contribuido a su aprendizaje. Por su parte, otra iniciativa ayudó a ganar familiaridad con los experimentos en físico, previo contacto con experimentos virtuales. En este mismo sentido se listan otras habilidades mejoradas gracias a la ex-

perencia, tales como trabajo autónomo y uso de sistemas computarizados (Korud *et al.*, 2015).

Ahora, en el área electrónica digital + analógica, se menciona la puesta en marcha de varias clases de experimentos basados en sistemas en la nube, de manera virtual (Mayoof *et al.*, 2021). Se argumentan ventajas tales como costos de equipo presencial disminuidos y mayor número de estudiantes participantes, entre otros. Sin embargo, allí los autores reconocen la necesidad de desplegar algún tipo de material o kit para desarrollar experimentación como aplicaciones del mundo real. Adicionalmente, aunque poseen varios experimentos simulados, contemplan la posibilidad de involucrar FPGAs y un medio de codificación HDL dada la importancia para el área de IoT. En Bowden *et al.* (2019) se describe una experiencia que resultó positiva para el área de electrónica analógica. Se mantuvo el segmento tradicional de práctica de laboratorio Hands-On, a la vez que se introdujo un elemento que permitía a los estudiantes realizar mediciones fuera del mismo.

En el área de ingeniería en control, se encuentra el trabajo de Lei *et al.* (2018), que expone el laboratorio NCSLab. Se trata de un laboratorio híbrido online, que combina modalidades virtual + remota. En él, los estudiantes realizaron experimentos incluyendo control PID, LQR y identificación de sistemas. Se realizaron mediciones de percepción y calificaciones durante cinco años. El resultado fue una mejora en las calificaciones luego de la introducción del laboratorio híbrido en los cursos de control. Un hecho positivo es que el NCSLab fue usado para acompañar los conceptos y fórmulas impartidos en el aula de clase. Esto permitió una mejor comprensión, que fue reforzada con experimentación usando el laboratorio luego de la clase. La percepción de los estudiantes permitió reforzar este resultado. Los estudiantes destacaron la utilidad del laboratorio debido a su usabilidad y la ayuda que significó para la comprensión de la temática.

Un trabajo relacionado con el aprendizaje de electrónica digital y la práctica de un HDL es el mostrado en Corso Pinzón *et al.* (2023). Se trata de UNCode-Digital, una herramienta de calificación automática que permite al estudiante enriquecer su aprendizaje. Con este fin, los autores presentan una plataforma online que permite la práctica mediante la codificación y simulación de un HDL. A su vez, esta genera una realimentación inmediata y la calificación automática del diseño cargado. Además de eso, la herramienta ha sido evaluada desde un punto de vista educativo y experiencial en el aula, lo que genera mayor fiabilidad para su uso en otros grupos de electrónica. Los estudiantes que han tenido contacto con la iniciativa han otorgado una valoración positiva general. Las características principales han sido destacadas en este aspecto. Otros elementos de importancia como el resaltado de sintaxis, la interfaz gráfica y los diagramas de tiempo como resultado de simulación también fueron bien recibidos. La plataforma está disponible para el público. Los beneficios se enfocan no solo en el estudiante sino en el docente. De esta forma, el enfoque de la enseñanza se podría orientar hacia un acompañamiento más personalizado y aplicado al tratamiento de errores de mayor dificultad (Corso Pinzón, 2023). A la vista de la clasificación de laboratorios, se podría constituir en una iniciativa de tipo virtual, con elementos que enriquecen la experiencia para el aprendizaje de un HDL de una forma más rápida, interactiva y clara para el estudiante.

Finalmente, es importante mencionar el trabajo de Barak *et al.* (2016). Allí se involucra la creación del *Embedded Engineering Learning Platform* (E2LP). Se trata de una tarjeta electrónica destinada a apoyar el aprendizaje de los estudiantes en cursos de sistemas embebidos o asignaturas de ingeniería eléctrica y mecánica en general. El estudio realizado buscó identificar los elementos del laboratorio que ayudaron a los estudiantes a mejorar su rendimiento y motivación. El estudio tomó en cuenta datos cuantitativos y cualitativos, basados en notas de exámenes, tests y observaciones junto a entrevistas a distintos actores educativos. Los cuestionarios abordaron cuestiones de usabilidad y experiencia de los estudiantes, así como el tiempo y claridad del material que acompañó la experiencia. También se aplicó el MSLQ (*Motivated Strategies for Learning Questionnaire*), del cual tomaron 31 ítems. Abordaron aspectos de motivación tales como valoración de la tarea, orientación a metas, control de creencias y autoeficacia. Luego del análisis de los datos, se encontró que la iniciativa contribuyó a la motivación intrínseca, cuando los estudiantes se enfrentaban a tareas retadoras en el laboratorio, así como a valorar la importancia del curso para su carrera. Además, las calificaciones mejoraron, aunque estas fueron disminuyendo gradualmente en el transcurso del curso. De ahí que las tareas asignadas a los estudiantes deben ser diseñadas apropiadamente. Si bien no se trata de un laboratorio híbrido, consiste en una de las pocas iniciativas donde se registra el uso de instrumentos de recolección de datos validados. Con posterioridad, la iniciativa habría de evolucionar a un laboratorio remoto como se observa en Kłoda y Piwiński (2017).

De acuerdo a la información revisada, se encontró que en algunos casos no hay variables definidas. Desde el punto de vista técnico si hay algunas variables y métricas como la QoS (Calidad del servicio) para laboratorios mostrada en Cuadros *et al.* (2021). En otros casos, la percepción no se relaciona con lo obtenido en el desempeño académico como se mostró en Ayodele *et al.* (2015). Existe evidencia de laboratorios en el área de ingeniería electrónica y en particular, de electrónica digital. No obstante, hay necesidad de relacionar otros instrumentos válidos para obtener hallazgos que permitan consolidar elementos de un laboratorio híbrido.

3. Comparativo y selección de un laboratorio remoto

En este capítulo se describe el proceso de búsqueda, comparación y selección de un laboratorio remoto (LR) para el aprendizaje de electrónica digital desde la práctica con un HDL. Posteriormente, el LR seleccionado será integrado con la modalidad HO (Hands-On) para conformar un laboratorio híbrido (LH).

La fase inicial consistió en la exploración de laboratorios remotos existentes mediante una búsqueda sistemática en la literatura. Una vez los resultados fueron obtenidos, se llevó a cabo una verificación preliminar. Así se lograría identificar aquellos que fueran accesibles, bien de manera libre o a través de alguna forma de acceso pago o con registro previo. También se consideró la necesidad del componente físico real como un aspecto fundamental para evaluar el diseño en la práctica. Es decir, se buscó que la práctica con HDL pudiera ser extendida hasta la implementación y pruebas en un dispositivo programable real, típicamente una FPGA.

3.1. Búsqueda de laboratorios remotos (LRs)

Los laboratorios remotos (LR) se han venido trabajando desde hace aproximadamente 30 años en distintas industrias. No obstante, con la explosión de las redes de Internet a lo largo y ancho de varios territorios, se ha incrementado el interés en el desarrollo de LRs para la educación (Velosa, 2020). Así, en los últimos 15 años ha aumentado el número de estas iniciativas. La huella ha quedado en la literatura desde los incipientes desarrollos en los años 2000 (Post *et al.*, 2019).

De acuerdo con lo anterior, se realizó la búsqueda de información sobre laboratorios remotos (LR) desde el año 2012. Se ajustaron las ecuaciones de búsqueda con este límite. Las razones que motivaron esta delimitación están relacionadas con la disponibilidad y tecnologías usadas en estos laboratorios. Esto es, aquellos laboratorios anteriores a 2012 tienen mayores posibilidades de estar fuera de línea. En otro caso, los que pudieran estar activos, pueden resultar deficientes si no han sido actualizados para una interacción adecuada con los equipos y programas de años recientes. Esto resulta especialmente relevante si los LR fueron construidos y activados antes la masificación de Internet. Por ello, es posible que algunos de ellos no hayan subsistido hasta el momento.

3.1.1. Parámetros iniciales

La búsqueda consistió en un procedimiento cuyos parámetros iniciales fueron:

1. Tema o interés de investigación: Laboratorios remotos para electrónica digital.
2. Delimitación cronológica: desde 2012 hasta Marzo de 2022 (incluido).
3. Bases de datos o recursos disponibles: aquellos dispuestos desde la Universidad Nacional de Colombia (UNAL) y otros como Google Scholar.

En este caso las bases de datos principales a las que se tuvo acceso, parcial o total, se listan a continuación:

1. Descubridor UNAL
2. Scopus
3. IEEE
4. Science direct
5. Web of science

Adicionalmente, se hizo una búsqueda en *Tesaurus* disponibles relacionados con ingeniería, para ajustar términos y palabras, con el fin de obtener mejores resultados en la búsqueda, entre ellos el IEEE thesaurus (IEEE, s.f.).

Siguiendo lo anterior, se establecieron las palabras claves para la búsqueda, tal como se indica en la Tabla 3-1.

3.1.2. Ajuste de ecuaciones de búsqueda

Con el uso de las palabras clave presentadas en la Tabla 3-1, el procedimiento se centró en el ajuste de ecuaciones. La idea inicial consistió en tomar palabras clave generales, para luego colocarlas en las bases de datos y examinar los resultados. De esta manera, se fue cerrando el foco de la búsqueda en torno al tema de investigación. Una búsqueda inicial muy general fue, por ejemplo, la aplicación de la ecuación *Laboratorios remotos digital*. Los resultados mostraron disciplinas involucradas más allá de la ingeniería eléctrica/electrónica donde se enmarca la investigación.

Durante esta exploración inicial, se logró identificar dos conjuntos de palabras o esferas de búsqueda. El primero de ellos se orientó a la parte de laboratorios remotos y sus sinónimos. El segundo de ellos

Tabla 3-1.: Palabras clave para la búsqueda sistemática

Lenguaje natural	Sinónimos	Normalizadas en español	en	Normalizadas en inglés
Laboratorio remoto	Laboratorio a distancia	Laboratorio tradicional - experimento remoto	no	remote laboratories - Educational laboratory / Lab - student experiments - Non_traditional laboratory - REMOTE access networks
Diseño digital	Laboratorio de hardware	Electrónica digital		Test facilities - hardware design languages - HDL
		Programación paralelo	en	Parallel programming
				Logic design

se enfocó en ajustar palabras clave con características atribuibles al primer conjunto. Así, se delimitó la búsqueda ajustando características específicas. Un ejemplo del segundo conjunto que afinó la búsqueda incluyó términos como *área de electrónica digital, con HDL, con FPGA*, etc. La gama de resultados disponibles se consignó en una tabla para su revisión posterior. El resultado de estas ecuaciones se puede observar en la Tabla 3-2.

Nombre de la base de datos o recurso de información	Fecha de consulta	Ecuación de búsqueda	Número de resultados obtenidos
Descubridor	20-oct	("laboratorio remoto" OR "laboratorio a distancia" OR "experimento remoto" OR "remote laboratory" OR "Educational laboratory" OR "student experiments" OR "Non_traditional laboratory") AND ("Electrónica digital" OR "Laboratorio de hardware" OR "Diseño digital" OR "Test facilities" OR "hardware design languages" OR "HDL")	14

Tabla 3-2 continúa desde la página anterior

Nombre de la base de datos o recurso de información	Fecha de consulta	Ecuación de búsqueda	Número de resultados obtenidos
		(“laboratorio remoto” OR “laboratorio no tradicional” OR “laboratorio a distancia” OR “experimento remoto” OR “remote laboratory” OR “Educational laboratory” OR “student experiments” OR “Non_traditional laboratory”) AND (“Electrónica digital” OR “Laboratorio de hardware” OR “Diseño digital” OR “Test facilities” OR “hardware design languages” OR “HDL” OR FPGA)	142
Scopus	22-oct	(TITLE-ABS-KEY (“laboratorio remoto” OR “laboratorio no tradicional” OR “laboratorio a distancia” OR “experimento remoto” OR “remote laboratory” OR “Educational laboratory” OR “student experiments” OR “Non_traditional laboratory”) AND TITLE-ABS-KEY (“Electrónica digital” OR “Laboratorio de hardware” OR “Diseño digital” OR “Test facilities” OR “hardware design languages” OR “HDL” OR fpga)) AND (LIMIT-TO (PUBYEAR , 2022) OR LIMIT-TO (PUBYEAR , 2021) OR LIMIT-TO (PUBYEAR , 2020) OR LIMIT-TO (PUBYEAR , 2019) OR LIMIT-TO (PUBYEAR , 2018) OR LIMIT-TO (PUBYEAR , 2017) OR LIMIT-TO (PUBYEAR , 2016) OR LIMIT-TO (PUBYEAR , 2015) OR LIMIT-TO (PUBYEAR , 2014) OR LIMIT-TO (PUBYEAR , 2013) OR LIMIT-TO (PUBYEAR , 2012) OR LIMIT-TO (PUBYEAR , 2011))	80

Tabla 3-2 continúa desde la página anterior

Nombre de la base de datos o recurso de información	Fecha de consulta	Ecuación de búsqueda	Número de resultados obtenidos
IEEE		(“All Metadata”:“laboratorio remoto” OR “All Metadata”:“laboratorio no tradicional” OR “All Metadata”:“laboratorio a distancia” OR “All Metadata”:“experimento remoto” OR “All Metadata”:“remote laboratory” OR “All Metadata”:“Educational laboratory” OR “All Metadata”:“student experiments“ OR “All Metadata”:“Non_traditional laboratory”) AND (“All Metadata”:“Electrónica digital” OR “All Metadata”:“Laboratorio de hardware” OR “All Metadata”:“Diseño digital” OR “All Metadata”:“Test facilities” OR “All Metadata”:“hardware design languages” OR “All Metadata”:“HDL” OR “All Metadata”:FPGA)	54 - 4 journals y 50 conferencias
Web of science		ALL=((“laboratorio remoto” OR “laboratorio no tradicional” OR “laboratorio a distancia” OR “experimento remoto” OR “remote laboratory” OR “Educational laboratory” OR “student experiments” OR “Non_traditional laboratory”) AND (“Electrónica digital” OR “Laboratorio de hardware” OR “Diseño digital” OR “Test facilities” OR “hardware design languages” OR “HDL” OR FPGA))	13

Tabla 3-2.: Ecuaciones de búsqueda derivadas del ajuste basado en las palabras clave

3.1.3. Resultados de la búsqueda

Los resultados obtenidos a partir de las ecuaciones de búsqueda fueron consignados de forma ordenada en una hoja de cálculo. La información allí dispuesta incluyó el nombre del artículo/recurso, autor(es), año de publicación y enlace de acceso a cada uno de ellos. Adicionalmente, fueron clasifi-

cados acorde a las bases de datos de origen.

Una vez se realizó el registro de los resultados obtenidos, siguió una etapa de consolidación de los mismos. Para ello, se estableció un nivel de relevancia basado en el título y resumen de cada una de las referencias recopiladas. Se asignó un puntaje a cada una de ellas. La escala fue de 1 a 5, donde el mayor valor se asignó a las referencias que mostraban mejor proyección para la búsqueda de un laboratorio remoto adecuado.

Posteriormente, se realizó la revisión en mayor detalle de los artículos ya recolectados. Se hizo de acuerdo con la relevancia del puntaje asignado. Es decir, aquellos trabajos que fueron numerados con valores mayores a 3, fueron seleccionados primero y revisados con mayor cuidado. Los laboratorios se buscaron mediante la revisión de cada trabajo, tratando de encontrar alguna referencia o enlace directo a los mismos. En algunos casos, los autores no incluyeron esta información de manera puntual en el escrito. En estos casos, se realizó una búsqueda adicional en la web, indicando la universidad u organización junto a palabras clave del artículo o el nombre del laboratorio. En otros casos, se incluyeron palabras clave como remote, FPGA, etc.

Como resultado de la anterior labor, se registraron 25 referencias que mostraban alguna información sobre iniciativas de laboratorios remotos. En esta instancia, el espectro de la información a recolectar fue ampliado. Se incluyeron algunas características relacionadas con el acceso, la temática, datos de los equipos enlazados y el idioma, siempre que la información estuviese disponible. Esta información sería de utilidad para continuar el proceso de selección del laboratorio. Estas características abarcaron:

- Tipo de laboratorio: Remoto o híbrido (cuando el LR hace parte de un híbrido)
- Tipo de acceso:
 - Pago, cuando el acceso tiene un costo asociado.
 - Libre, cuando se puede ingresar sin costo alguno, o mediante algún registro previo solamente.
 - Condicionado (trial), situación en la cual se tiene acceso limitado en funcionalidades o en el tiempo de acceso. Luego, se requiere de un pago para el acceso total.
 - Restringido, lo cual indica que el laboratorio no exige costo alguno pero está dispuesto para alguna comunidad estudiantil o institución educativa en particular.
- Costo: por hora o por estudiante, si el laboratorio lo exige.
- Tiempo de uso: ilimitado, 30 min, 1 hora por día, etc.
- Estatus del laboratorio: puede estar activo, fuera de línea o su estado es indeterminado porque no se ha encontrado la forma o enlace para el acceso exitoso.

- Lenguajes permitidos (HDL) de práctica.
- Temáticas a cubrir: temáticas que pueden ser practicadas-experimentadas en el laboratorio. Pueden incluir temáticas básicas de electrónica digital o avanzadas como procesadores y diseño avanzado digital.
- Equipos-tarjetas disponibles: datos de las FPGAs o cualquier otro equipo enlazado en el laboratorio.
- Requerimientos de hardware: necesidades de instalación de programas locales o capacidades de disco, memoria, sistema operativo u otros necesarios para una experiencia adecuada con el laboratorio.
- Idioma del laboratorio.

3.2. Selección de un laboratorio remoto LR

3.2.1. Preselección de laboratorios remotos

El siguiente paso consistió en una preselección a partir del listado de los laboratorios remotos obtenidos, luego de la revisión de las referencias. Con ello, se buscó reducir el número de opciones disponibles a elegir. Los criterios de preselección se basaron principalmente en el acceso y disponibilidad de los laboratorios. También fue clave el idioma en que se interactúa con el laboratorio y la temática para la cual fue pensado. Estos son criterios mínimos que los laboratorios debían cumplir para pensar en una posterior selección más detallada. En ciertos casos, un laboratorio prometía ser adecuado y con buenas características pero no fue posible el acceso. En otros casos, podría ser que no estuviese disponible para su uso por alguna restricción. Es decir, estos se podrían considerar criterios de eliminación temprana y permitieron realizar una depuración importante. Así, los criterios de preselección fueron los siguientes:

- Idioma: El lenguaje de interacción era distinto del inglés y español.
- Estatus del laboratorio: se encuentra como fuera de línea o indeterminado.
- Tipo de acceso: se presentó restricción de ingreso al laboratorio (salvo los que requerían un pago).
- Temáticas a cubrir: el laboratorio no tenía relación con el aprendizaje de un HDL.

Cabe mencionar que a partir de la información y acceso a los recursos bibliográficos revisados, se observó una baja disponibilidad en el acceso a los LRs. Las razones de esta limitación incluyen laboratorios inactivos, entornos restringidos para el acceso fuera de la institución a cargo, enlaces desactualizados o rotos. En otros casos, no se encontró la información para el acceso. Este aspecto ya había

sido señalado en Orduna *et al.* (2016). Allí se menciona que la cantidad de iniciativas de laboratorios remotos descritos en la literatura es numerosa. Sin embargo, la duración de los mismos es limitada en el tiempo. Además, algunos de ellos fueron pensados para atender una población restringida a una institución o grupo de personas en particular.

También es importante notar que existen variantes entre los laboratorios remotos encontrados. Algunos de ellos requieren instalación de alguna herramienta o programa de forma local para sustentar el proceso de síntesis como etapa previa. Este paso es el que permite generar el archivo de configuración a cargar en la tarjeta FPGA. No obstante, no se incluyó este aspecto como criterio de eliminación temprana. Si se tuvo en cuenta como criterio adicional para la selección del laboratorio remoto.

Con lo anterior, en la Tabla 3-3 se encuentra el resultado del proceso de preselección. Sólo 4 iniciativas de laboratorio remoto cumplieron con los criterios de preselección y fueron accesibles en alguna forma. En general, la temática que abarcan involucra circuitos básicos de electrónica digital. En un caso puntual incluye elementos de procesadores bajo arquitectura RISC-V. En estos casos, contaron con alguna plataforma web disponible para registro o práctica.

Tabla 3-3.: LRs preseleccionados. Se observa el detalle de los criterios de preselección aplicados en algunas características de interés para el acceso a cada uno de ellos. Acceso en mayo de 2022

Nombre	Tipo de acceso	Idioma	Estatus	Temática	Referencia
Vicilogic 2.0	L	Inglés	Activo	Lógica combinacional, secuencial, procesadores RISC-V	Morgan <i>et al.</i> (2018)
E2LP RL	L	Inglés	Activo	Lógica combinacional	Kłoda y Piwiński (2017)
FPGA Vision Remote Lab	L	Inglés	Activo	Lógica digital básica, Image processing	Schwandt y Winzker (2019)
Labsland FPGA laboratory	P, C	Español, Inglés	Activo	Lógica combinacional, lógica secuencial	Orduna <i>et al.</i> (2016) Angulo <i>et al.</i> (2019)

P: Pago - C: Condicionado (Trial) - L: Acceso libre, con o sin registro previo

Vicilogic 2.0

La plataforma Vicilogic 2.0 es una opción de laboratorio remoto para el aprendizaje de electrónica digital. Es una herramienta útil para complementar y apoyar el desarrollo de cursos de sistemas digitales, incorporando el diseño y la implementación en un dispositivo. Automatiza algunas etapas del prototipado de hardware. Por lo tanto, abarca todo el flujo de diseño, simulación, síntesis e implementación. Con todo, estas etapas de trabajo y el contacto con una FPGA están dispuestas de un modo más transparente para el usuario (Morgan *et al.*, 2018).

Además, se enfoca en algunos elementos típicos que hacen parte de un procesador. Su enfoque se centra en la arquitectura RISC-V. Para ello, cuenta con cursos guiados con elementos interactivos. El aprendiz puede seguir las lecciones y realizar pruebas interactivas mientras observa el cambio en tiempo real. Para ello, la plataforma cuenta con conectividad a SoCs de Xilinx en la nube, que recibe las señales de entrada y devuelve la respuesta de salida. Esta experiencia da certeza sobre la realización del experimento con un dispositivo físico. Así se favorece el acceso a la práctica con un dispositivo de lógica programable real en algún lugar remoto (Morgan *et al.*, 2018).

También permite crear y desarrollar elementos para conformar un curso propio. Se puede configurar para que el usuario pueda controlar y visualizar las señales sobre las que actúa el usuario. Todo ello se observa en tiempo real. Existe la posibilidad de incluir algún control del conocimiento del usuario, conforme avanza en las lecciones (Canavan *et al.*, 2018; Morgan *et al.*, 2018).

La plataforma se encuentra activa y disponible para su uso en línea, previo registro¹. En la Figura 3-1 se encuentra el ejemplo de un esquemático que explica un elemento de electrónica digital. El usuario puede disponer de la interactividad para realizar cambios y observar el resultado en el momento. También están disponibles otros recursos tales como diagramas de tiempo, tablas de verdad y códigos en VHDL o Verilog. Estos últimos son descriptivos pero no son modificables en la herramienta.

E2LP RL

El E2LP es un proyecto creado para el apoyo al aprendizaje de sistemas embebidos. Inicialmente se desplegó como una tarjeta para su uso en el laboratorio tradicional HO (Barak *et al.*, 2016), luego evolucionó para ofrecer servicios remotos. El propósito fue el control de un experimento basado en FPGA a distancia. El servicio fue ofrecido a través de Internet mediante un portal web destinado a este fin (Kłoda y Piwiński, 2017).

A partir del diseño de base mostrado en Barak *et al.* (2016), se adicionaron bloques de hardware para establecer las necesidades de comunicación remota junto a un computador conectado a Internet a

¹ Disponible en: <http://www.vicilogic.com/>

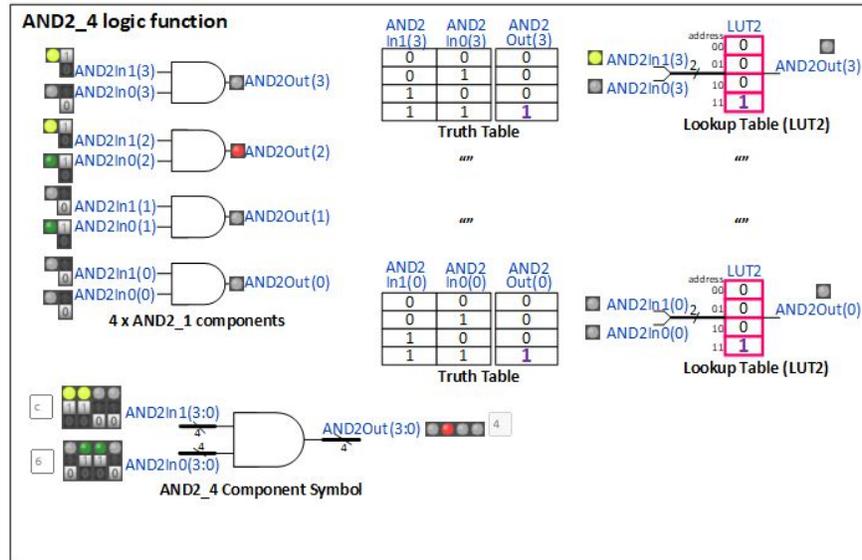


Figura 3-1.: Ejemplo tomado de un curso ofrecido desde www.vicilogic.com

modo de host. Cualquier computador en otra ubicación se podría conectar con el experimento remoto a través de Internet e interactuar y acceder a los programas y módulos necesarios para esta tarea. También se ubicó material pedagógico para complementar la práctica. De esta manera, el laboratorio remoto estaría compuesto por 3 elementos. El primero de ellos, un portal web para el acceso a la tarjeta FPGA remota y al material con lecciones y ejercicios. El segundo elemento es la tarjeta FPGA remota en sí misma, con añadidos para la comunicación y envío de señales. Por último, está el software necesario para soportar el funcionamiento del laboratorio remoto (Kłoda y Piwiński, 2017).

La interfaz del laboratorio remoto fue diseñada para reflejar el mismo comportamiento de la tarjeta remota. Es una representación virtual del dispositivo y sus periféricos. Está compuesta de elementos como leds, pulsadores, botones y una LCD. Esto se observa en la Figura 3-2. Previamente, el usuario debe haber generado el archivo de configuración (bitfile) con destino a la tarjeta FPGA remota. Por lo tanto, el usuario debía tener una instalación local con software de Xilinx, para codificar el diseño, simularlo, verificarlo y generar el bitfile (Kłoda y Piwiński, 2017).

La tarjeta inicial (sin capacidad remota) fue construida y verificada con ciertos instrumentos de medición de aspectos del aprendizaje como la motivación y autoeficacia (MSLQ), así como la usabilidad (CSUQ). Por esa razón, involucra elementos pedagógicos como lecciones y material de consulta y apoyo. También se realizó una validación de la iniciativa remota a través de la percepción estudiantil. Esta fue llevada a cabo en la Facultad de Mecatrónica, de la Universidad Tecnológica de Varsovia. Como resultado, se encontró buena aceptación general de la iniciativa. El diseño de la interfaz y su funcionalidad fue bien recibida. Además, se admitió como opción alternativa al uso de la tarjeta en físico. Por su parte, el manejo del software de Xilinx no tuvo una opinión positiva debido a los mensajes de error confusos y la experiencia general con el programa (Kłoda y Piwiński, 2017). El acceso al mismo

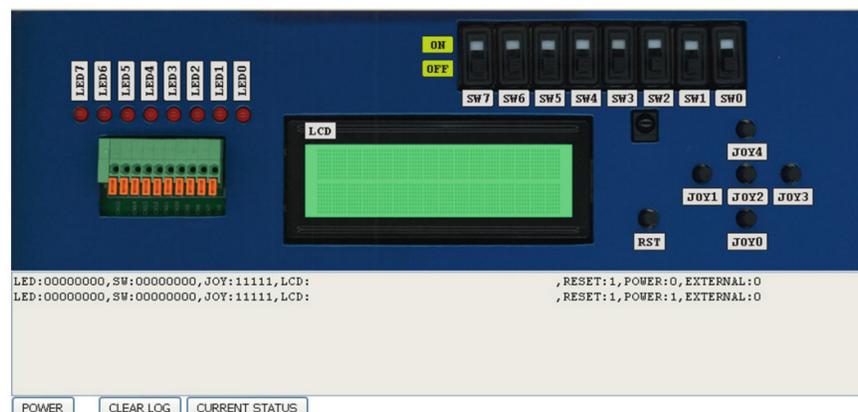


Figura 3-2.: Interfaz gráfica desplegada en el laboratorio remoto del proyecto E2LP. Muestra los periféricos disponibles de forma virtual, cuya respuesta es tomada de la tarjeta FPGA remota en físico.

estuvo disponible en <http://e2lp.piap.pl>.

FPGA Vision Remote Lab

El FPGA Vision Remote Lab es un laboratorio remoto disponible en conjunto con material educativo complementario como videos, código de referencia y diapositivas. Entre las temáticas a las que aporta están la verificación de circuitos, la aplicación de algoritmos para procesamiento de imagen y el análisis de consumo de potencia. Combina el acceso a través de una web con la disponibilidad de FPGAs remotas. De esta forma, permite el aprendizaje de temas avanzados que podrían ser difíciles de abarcar sin práctica con hardware real (Winzker y Schwandt, 2019).

Con esta solución, los estudiantes pueden comprobar sus diseños y mejorar la comprensión de especificaciones, decisiones de diseño y el uso de recursos. Los estudiantes deben realizar todo el flujo de diseño localmente antes de subirlo al laboratorio remoto. Además, permite realizar experimentos de forma controlada sin límites de horario. Se pueden llevar a cabo experimentos con imágenes tales como detección de carril, filtros FIR y aprendizaje de máquina (Schwandt y Winzker, 2019). En la Figura 3-3 se observa un ejemplo de este tipo de implementación.

Se apoya en la plataforma WebLab-Deusto² para la gestión de usuarios y administración de instancias de hardware. Es accesible para aprendices independientes, lo que demuestra su potencial como recurso educativo abierto a nivel global.

Adicionalmente, la iniciativa tuvo un nivel de aceptación amplio gracias a la retroalimentación de los

²Disponible en: <https://weblab.deusto.es/>

estudiantes. Entre los beneficios se cuenta con la mejora efectiva en el aprendizaje, gracias a la experimentación y el acceso al material allí dispuesto. De igual modo, la aceptación de la plataforma como una opción alternativa al laboratorio tradicional es positiva. Una característica es que se ofrecen dos modelos de FPGA para la práctica. Algunos estudiantes valoran este hecho de forma positiva, en particular para temáticas de consumos de potencia, debido a posibilidad de comparar consumos entre dos dispositivos (Winzker y Schwandt, 2019).

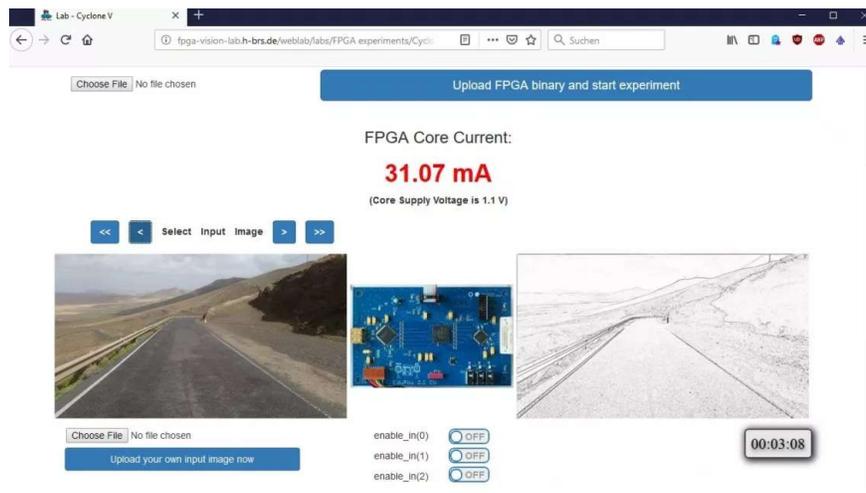


Figura 3-3.: Interfaz gráfica desplegada en el laboratorio remoto FPGA Vision. Cuenta con la facilidad de aplicar a las imágenes diferentes algoritmos implementados en FPGA. Tomada de <https://www.h-brs.de/de/remote-lab-info>

Labsland

Labsland es una plataforma educativa que ha creado una red de laboratorios para la práctica y experimentación en diversas disciplinas. Proveen el servicio a múltiples instituciones a nivel mundial, para el acceso de sus estudiantes a experimentos reales de forma remota. Adicionalmente, apoya la consolidación y colaboración de nuevos laboratorios remotos dentro de esta red (Mayoz *et al.*, 2020).

Entre las múltiples opciones que ofrece se encuentran laboratorios remotos para el aprendizaje de electrónica digital. A través de este servicio, es posible cubrir gran parte del flujo de trabajo requerido para el desarrollo de diseño digital en dispositivos lógicos programables reales. Estos se encuentran en ubicaciones remotas, a los cuales se puede acceder con sólo el requerimiento de un navegador web. Proporciona un editor para HDL con sistema de archivos disponible para el usuario. Abarca los procesos de síntesis, implementación y programación del dispositivo programable tal como una FPGA (Angulo *et al.*, 2019).

La percepción de los estudiantes que han estado en contacto con Labsland es generalmente positiva. Como beneficios a resaltar, se encuentra la flexibilidad para realizar práctica en cualquier momento del día. La posibilidad de repetir los experimentos tantas veces como sea posible y la usabilidad de la plataforma también fueron bien valoradas. Además, fue bien estimado el acompañamiento de docentes e instructores, quienes facilitaron el proceso con la información apropiada (Mayoz *et al.*, 2020).

Ofrece sus servicios bajo un esquema de pago por acceso. El registro, contacto y demás características se pueden encontrar a través de su página web ³.

3.2.2. Elección de laboratorio remoto

La etapa de preselección de laboratorios remotos permitió cerrar el espectro a unas pocas opciones. Todo ello se basó en requisitos mínimos de temática, idioma y disponibilidad en el acceso. Para pasar a la selección final, fue pertinente la revisión de algunos criterios de categorización para un laboratorio remoto. En el aspecto técnico, se mencionan algunos de ellos en Martin-Gutierrez *et al.* (2016), los cuales comprenden:

1. Tecnología del laboratorio: los recursos informáticos y en general, la estructura o framework en el que se basa el LR. En este caso, fue interpretado como la tecnología por la cual el laboratorio remoto es dispuesto para el usuario. Si existe necesidad de instalación de programas, de forma parcial o total, o si el servicio es entregado vía navegador web.
2. Cámara: disponibilidad de visualización del experimento en alguna forma por medio de imagen o video. Si no posee cámara, se establece la forma en que entrega la retroalimentación del experimento al usuario.
3. Gestión de reservas: permite ver si el laboratorio tiene alguna forma de administrar el tiempo de uso, como reserva en calendario o algún tipo de cola de espera en función de la demanda por parte de los usuarios.
4. Autenticación: necesidad de registro previo, acceso limitado a determinados usuarios, etc.
5. Registro de actividad: almacenamiento de datos del estudiante, registrando datos de relevancia para verificación y evaluación del desempeño.
6. Tipo de software: el software en el que se basan algunos servicios del LR puede ser libre o privativo, o una combinación de ellos. Este criterio es de mayor utilidad para quienes busquen crear un laboratorio remoto basado en otros ya establecidos.

³ Disponible en: <https://labsland.com/es>

Por consiguiente, las cuatro opciones preseleccionadas fueron revisadas en estos aspectos. La Tabla 3-4 permite apreciar de manera general esta revisión.

Tabla 3-4.: Recuento de algunos criterios para la selección final de un laboratorio remoto.

Nombre lab	Tecnología	Cámara (visual)	Gestión reservas	Autenticación	Registro actividad	FPGA vinculada
Vicilogic	Web-based	✓	✓	✓	✗	✓
E2LP RL	Web-based & instalación local	✗	✓	✓	✗	✓
FPGA Vision Remote Lab	Web-based & instalación local	✓	✓	✓	✗	✓
Labsland FPGA laboratory	Web-based	✓	✓	✓	✓	✓

En primer lugar, la tecnología del laboratorio es importante puesto que permite asegurar la estabilidad y compatibilidad del servicio. En la medida de lo posible, se buscó que los usuarios evitaran instalación de programas locales. Por este motivo, se dio prioridad a la herramienta o laboratorio cuyo servicio se entregaba vía navegador web. No obstante, en este ítem se realizaron algunas pruebas de uso generales para evaluar la experiencia e interacción. Tres de las cuatro opciones presentaron entornos actualizados. Así mismo, se descartó la posibilidad de trabajar con necesidad de instalación de plugins o complementos no compatibles⁴. Adicionalmente, las cuatro opciones no presentaron requerimientos relacionados con servicios privativos o licencias especiales para la interacción. No obstante, las opciones que requieren de instalación de software local, sí podrían ser objeto de registros en bases de datos de las compañías propietarias de estos programas.

En segundo lugar, se encuentra la visualización del experimento. En este caso, tres de las cuatro opciones preseleccionadas contaban con alguna característica apoyada en una cámara. La opción restante lo mostraba mediante una interfaz virtual.

⁴Por ejemplo, la deshabilitación del complemento *flash*: <https://support.google.com/chrome/answer/6258784?hl=es-419>

En tercer lugar, la gestión de reservas es determinante para que un usuario acceda de manera oportuna a la práctica. En este caso, solo tres de las opciones mostraron cualidades en este sentido. No obstante, una de ellas resultó vulnerable a ciberataques, lo que la mantuvo algún tiempo fuera de línea. En este ítem también se dio valor al soporte que podrían entregar desde la administración de las plataformas.

El cuarto ítem, la autenticación, tiene que ver con las restricciones y posibilidades de la práctica. En general, todas las herramientas permitieron un acceso libre para la práctica, siempre y cuando se cumpliera con el registro y el buen uso de los recursos.

El quinto ítem resultó de vital importancia, toda vez que finalizada la experiencia con los estudiantes, habría necesidad de acceder a los datos de uso de la herramienta. Sólo una de ellas ofrecía la opción de mostrar estadísticas de uso.

Finalmente, el ítem relacionado con el tipo de software fue interpretado desde la posibilidad de acceso a la herramienta. Las dos opciones disponibles eran el acceso libre o acceso pago. Inicialmente, se dio prioridad a las herramientas que no presentaran costo alguno para su uso. Sin embargo, si el costo era razonable, esto permitiría el acceso a las ventajas de soporte que usualmente se presentan en estos casos. De las cuatro opciones preseleccionadas, solo una de ellas solicitaba un pago por el uso del servicio.

Como criterio especial adicional, se evaluó la capacidad de cubrir la temática de Electrónica digital básico, orientado a la práctica con un HDL. Para la validación de los diseños, la opción a elegir debía contar con una FPGA. El laboratorio remoto debía tener la capacidad de sustentar el flujo de trabajo con este dispositivo, al menos para las pruebas finales. En Mohsen *et al.* (2019) se diferencian 3 etapas relacionadas con :

- Generación de bit-stream
- Programación de FPGA
- Depuración de hardware

Por lo tanto, la opción a elegir debía cubrir al menos las dos últimas. La primera de ellas eventualmente podría ser solventada mediante programas instalados de forma local.

En las cuatro opciones preseleccionadas, los usuarios podrían interactuar de alguna forma con una FPGA. No obstante, el trabajo con un HDL se limitó en dos de ellas. Una de las opciones presentó la mayor ventaja en este sentido. Sus servicios comprendían las etapas del flujo de trabajo mencionadas previamente, junto con la opción de un editor para codificar en HDL.

A partir de lo anterior, se realizó la selección del laboratorio remoto LR ofrecido por Labsland. Pese a que esta opción es de acceso por pago, las ventajas respecto a la gestión de estadísticas de uso y amplio soporte fueron estratégicas para la elección. Adicionalmente, su enfoque en el aprendizaje de electrónica digital basado en HDL con implementación en FPGAs fortaleció esta decisión.

3.3. Laboratorio remoto seleccionado: Labsland

Labsland es una plataforma que agrupa una serie de laboratorios remotos, procedentes de distintas instituciones, para el acceso a la práctica con equipos reales. Ofrece sus servicios comerciales a establecimientos educativos alrededor del mundo (Villar-Martínez *et al.*, 2019). Labsland es una spin-off procedente del grupo de investigación de WebLab-Deusto⁵.

Esta iniciativa busca poner una serie de equipos de laboratorio y experimentos al alcance de un navegador web. Así, se puede configurar una experiencia hands-on como la que se obtiene en un laboratorio tradicional. Buscan integrar una serie de iniciativas desplegadas en distintas instituciones o universidades, con experimentos de distintas disciplinas, bajo un modelo de Sharing Economy (Orduna *et al.*, 2016). En medio de todo, se encuentra la garantía de confiabilidad y estabilidad de los sistemas que soportan la red para beneficio de los usuarios (Mayoz *et al.*, 2020).

Los laboratorios remotos con que cuenta están implementados bajo una herramienta de administración (RLMS–*Remote Laboratory Management System*, por sus siglas en inglés). Es un software de código abierto, el cual permite crear, agregar y administrar laboratorios remotos. De esta forma, la autenticación, autorización de uso, gestión de acceso a recursos y analíticas relacionadas están cubiertas por este sistema. En Buitrago *et al.* (2018), se describen estas características, junto al proceso para acoplar nuevos laboratorios remotos desde una institución educativa en conjunto con Labsland.

Adicionalmente, cuenta con la capacidad para gestionar los grupos de estudiantes desde Sistemas de Gestión del Aprendizaje (LMS por sus siglas en inglés). Dentro de un curso, se pueden generar opciones de acceso a diferentes laboratorios, como se observa en la Figura 3-4. Como atributo adicional, en la Figura 3-5 se observan los sistemas con los cuales puede integrarse efectivamente. Por otra parte, en la Figura 3-6 se muestra el acceso a las estadísticas de uso por franja horaria y día.

En el entorno de Labsland se ofrecen variadas opciones de laboratorio remoto en varias disciplinas del conocimiento. Abarca temáticas y experimentos en física, biología y electrónica. Una muestra de ello, por ejemplo, es el ArduinoRL. Es una opción que se ha mostrado adecuada para los requerimientos de los estudiantes de secundaria en sus clases de tecnología (Villar-Martínez *et al.*, 2019). Otro ejemplo es un laboratorio remoto que incorpora un robot seguidor de línea. Este puede ser programado en un

⁵Disponible en: <https://weblab.deusto.es/website/>

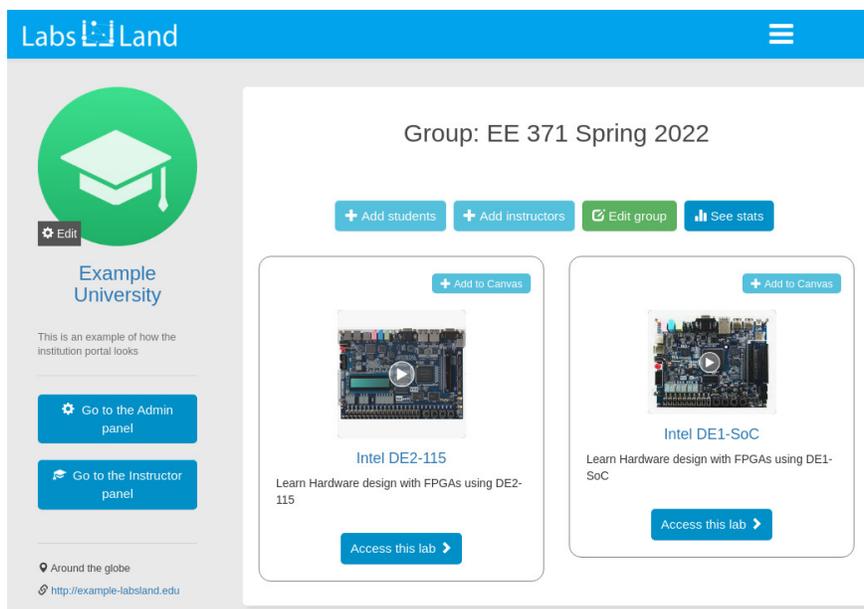


Figura 3-4.: Labsland: gestión de grupos de trabajo y su acceso a uno o varios laboratorios. Tomada de <https://labsland.com/es>



Figura 3-5.: Labsland: integración de grupos de estudiantes a través de LMS. Tomada de <https://labsland.com/es>

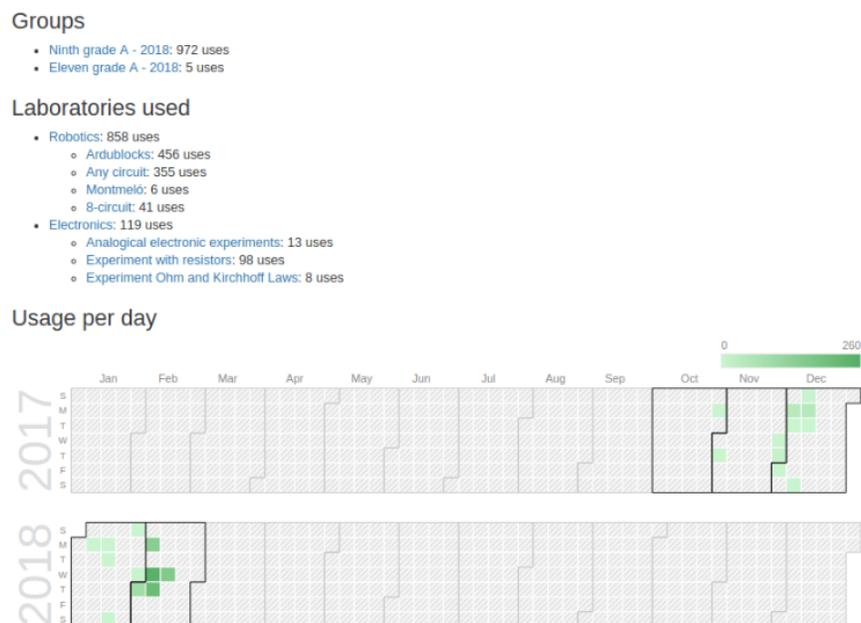


Figura 3-6.: Labsland: visualización de estadísticas de acceso y uso para distintos grupos. Tomada de <https://labsland.com/es/about>

editor de código de Arduino, para luego subir el archivo de configuración al robot. A través de una cámara, el estudiante puede ver el movimiento del robot como resultado de su código previamente compilado y ejecutado.

Labsland presenta otras opciones para el aprendizaje de electrónica digital. Entre ellas se encuentran los laboratorios remotos con FPGA. Estos permiten la edición de HDL, síntesis e implementación en el dispositivo. Esta última etapa se realiza de forma asíncrona, generando un sistema de colas para atender a los usuarios cuando van a realizar las pruebas de sus diseños (Angulo *et al.*, 2019).

Las motivaciones iniciales de este proyecto están orientadas a ofrecer una mayor disponibilidad de LR. En particular, para los estudiantes de electrónica digital, constituye en una opción válida de práctica. Permite centrar el aprendizaje orientado a implementación en FPGA. De esta manera, los estudiantes tienen un mayor acceso a la experimentación y pruebas con equipos reales (Mayoz *et al.*, 2020).

El flujo de trabajo con el laboratorio remoto de labsland puede realizarse a través de un navegador web. Este comprende 3 etapas principales:

- Codificación a través de un editor para HDL (Verilog, System Verilog y VHDL). Esto se observa en la Figura 3-7. Allí el estudiante podrá realizar la descripción de su diseño en alguno de los

lenguajes de preferencia. En esta etapa debe tener presente la forma en que realizará la comprobación del diseño en una FPGA. En este sentido, debe conocer los periféricos tales como LEDs, displays 7 segmentos, interruptores y botones disponibles. La Figura 3-8 muestra un esquema con los periféricos disponibles y sus nombres⁶. Para su uso efectivo, el estudiante debe tomar los nombres y relacionarlos en el código de descripción de hardware HDL en el editor. Así, podrá evaluar el comportamiento de su diseño basado en las entradas y salidas del mismo. Como característica adicional, se permite administrar varios archivos para establecer diseños modulares y jerárquicos.



Figura 3-7.: Editor de código HDL en Labsland. Abajo se observa la consola donde se observa el proceso de síntesis y el despliegue de errores y advertencias. Tomada de <https://labsland.com/es/labs/fpga-de2-115>

- Verificación y síntesis del diseño previamente codificado. Allí se dará alerta al usuario de los errores que haya cometido, o notificará advertencias según el caso.
- Implementación y pruebas en FPGA. Esta opción se activará cuando el sistema previamente haya verificado el diseño y sintetizado sin errores el mismo. Es en esta etapa donde el usuario podrá acceder a un dispositivo FPGA real. Esto dependerá de la demanda de usuarios en el sistema, el cual está parametrizado bajo una cola de tipo FIFO. Cuando sea el turno, el usuario podrá revisar el comportamiento de su diseño a través de los periféricos allí dispuestos. En la Figura 3-9 se observa la interfaz de Labsland donde se muestra el comportamiento de una FPGA a través de una cámara, en tiempo real. El usuario puede interactuar mediante los botones dispuestos a la derecha y observar la respuesta del dispositivo. Tomada de: <https://datasheets.labsland.com/licenses/LCAL0001>.

⁶Tomada de <https://labsland.com/blog/es/2020/03/11/>

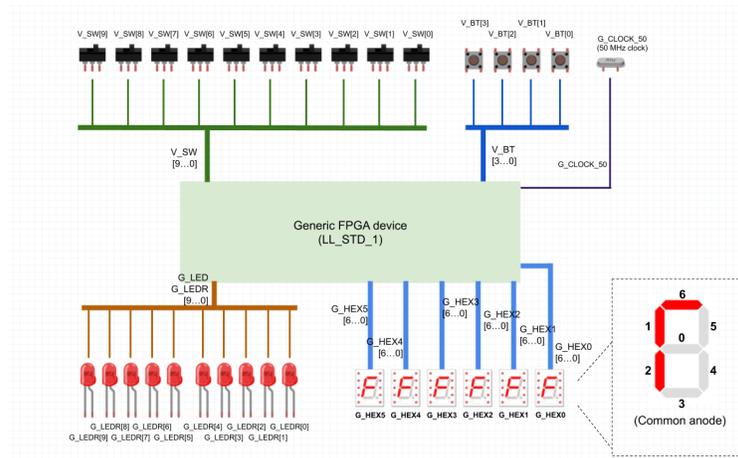


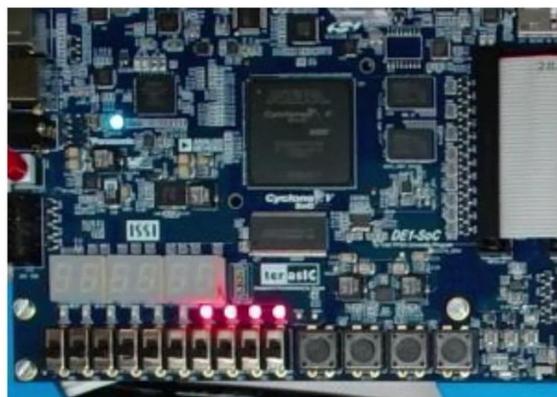
Figura 3-8.: Diagrama de periféricos dispuestos en uno de los laboratorios remotos con FPGA de Labsland.



This FPGA is hosted at DigiKey.



Intel FPGA Laboratory



You are using: digikey-cluster1-de1_soc_s111. Experiencing any problem with this device? Let us know

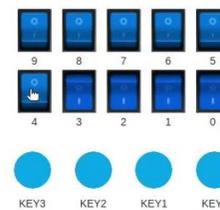


Figura 3-9.: Interfaz de Labsland donde se observa el comportamiento de una FPGA a través de una cámara, en tiempo real.

Otra característica del entorno de Labsland es la colaboración entre instituciones. En particular, la experiencia nombrada en Mayoz *et al.* (2020) muestra el uso del LR con FPGA disponible en Labsland para estudiantes de Sistemas Digitales I, con práctica de VHDL, en la Universidad Pública de Navarra. De igual manera, en UNIFESP - Science and Technology Institute, los estudiantes construyeron sus respectivos proyectos en el curso de Circuitos Digitales. Las temáticas trabajadas fueron Sistemas digitales básicos, así como lógica combinacional y secuencial.

Con motivo de esta colaboración, en Mayoz *et al.* (2020) se presenta una validación de la experiencia con los estudiantes. El uso del LR en UNIFESP está complementada con una encuesta de percepción de los estudiantes orientada a evaluar la experiencia en general mediante 5 ítems:

1. Aprendizaje: se indagó sobre si los estudiantes lograron realizar circuitos digitales y perciben un incremento en las habilidades prácticas.
2. Aceptación del laboratorio: trata sobre las preferencias de los estudiantes en el uso del laboratorio remoto o tradicional, así como que tan temerosos estuvieron de usar una u otra opción.
3. Inmersión y usabilidad: que tan fácil fue de usar y similitud con el laboratorio tradicional.
4. Guía del docente: nivel de comprensión de las instrucciones dadas sobre el uso del LR.
5. Dificultades técnicas sobre el acceso o práctica en el LR.

La discusión y conclusión remarca que algunos estudiantes prefirieron la modalidad remota en su totalidad debido a la disponibilidad 24/7, así como la reducción de tiempos de desplazamiento a la institución (Mayoz *et al.*, 2020). No hay una evidencia sobre el desempeño académico o la motivación más allá del resultado de percepción en cada uno de los 5 ítem anteriores. La puntuación total del LR fue superior a 4. Por lo tanto, es una herramienta que presenta algunos precedentes positivos desde el punto de vista pedagógico. Puede apoyar y complementar el aprendizaje de electrónica digital y dará lugar a análisis sobre el uso de los estudiantes en conjunto con la modalidad tradicional.

4. Diseño de la intervención educativa

Este trabajo plantea una intervención educativa para evaluar el impacto en la motivación por aprender y el rendimiento en el aprendizaje de un HDL, al aplicar una modalidad de laboratorio híbrido (LH). En este capítulo, en su parte inicial, se abordará la presentación del laboratorio tradicional (HO) y su esquema de prácticas. Primero se mostrarán en forma general las temáticas, así como la forma en que se lleva a cabo la práctica de laboratorio para la asignatura Electrónica digital 1 en la Universidad Nacional de Colombia (UNAL). Esta asignatura se constituye como un curso de iniciación en la línea de trabajo de electrónica digital. Después, se dará lugar a la conformación del laboratorio híbrido (LH) que integra las modalidades Hands-On (HO) y remota (LR). Esto se realizará mediante la asignación, numeración y temática de las prácticas que realizan los estudiantes en el laboratorio. Posteriormente, se hablará del diseño y metodología a seguir para la realización de la intervención educativa. El impacto será evaluado gracias al uso de instrumentos de recolección de datos que a posterioridad, permitirán analizar y generar conclusiones sobre la experiencia.

4.1. Laboratorio tradicional para electrónica digital 1

4.1.1. Enfoque general

En la Universidad Nacional de Colombia (UNAL), la asignatura de Electrónica Digital 1 se ubica en el contexto de las carreras de ingeniería eléctrica, electrónica y mecatrónica. Es la primera asignatura que abre el camino para recorrer la línea de trabajo de electrónica digital en general. Los estudiantes deben cursar y aprobar esta asignatura como un requisito para completar su formación profesional. En particular, quienes cursan la carrera de ingeniería electrónica deben profundizar más en esta línea de trabajo. Para los estudiantes de ingeniería eléctrica y mecatrónica, sólo esta asignatura inicial es obligatoria.

Acorde al Portal de Servicios Académicos de la institución¹, la asignatura “proporciona las bases metodológicas y tecnológicas para el diseño de sistemas digitales”. Para ello, el estudiante debe incorporar todo un proceso a partir de las especificaciones que dan lugar al diseño digital. Después, debe hacer uso de herramientas modernas que permitan establecer su desarrollo y correcta resolución. La asignatura se enseña a partir de dos enfoques de trabajo: componente magistral y componente práctica.

¹ Disponible en: <https://dninfoa.unal.edu.co/>

El primero de ellos corresponde a una parte teórica gestionada de manera *magistral*. La segunda parte, conocida entre los estudiantes simplemente como *laboratorio*, involucra toda la parte práctica que se lleva a cabo en el laboratorio de electrónica digital. Su forma de funcionamiento se ajusta a la de un laboratorio tradicional o Hands-On (HO). Los dos componentes actúan de forma complementaria para el aprendizaje integral del estudiante.

El enfoque manejado en la asignatura, en su parte práctica, está orientado al trabajo con lógica programable. Establecen una serie de prácticas por las cuales realizan una abstracción del diseño, acorde a unas especificaciones. Luego, realizan la verificación en dispositivos de lógica programable. En el laboratorio de electrónica digital se han dispuesto recursos para esta finalidad. Los estudiantes pueden acceder a dispositivos FPGA y periféricos variados para su uso. También pueden utilizar los instrumentos de medición usuales como multímetros y osciloscopios. Para la creación y síntesis de los diseños, deben contar con software en sus computadores. Este software de tipo EDA (Electronic Design Automation) incluye el editor de código HDL, así como herramientas para simulación y verificación del diseño. En la Figura 4-1 se observa el entorno de trabajo y las herramientas disponibles para ese fin.

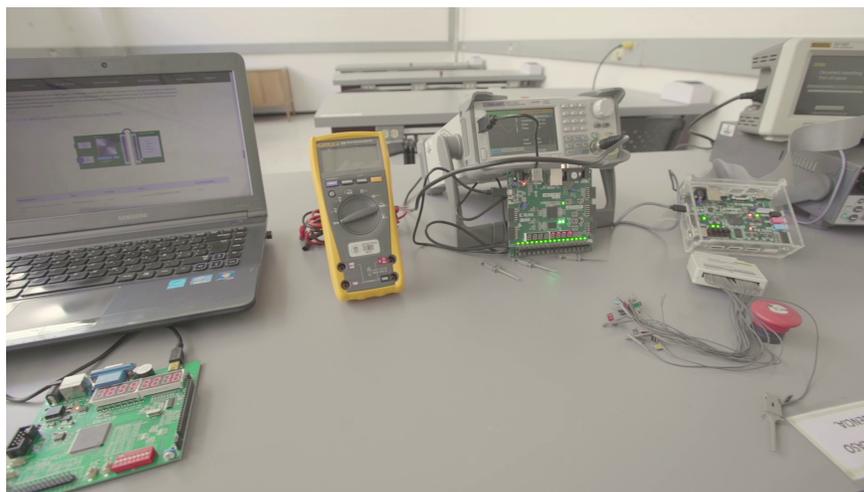


Figura 4-1.: Entorno de trabajo típico dispuesto en el laboratorio de electrónica digital. Se observan instrumentos de medición y dispositivos como FPGA. Tomada de <https://ingenieria.bogota.unal.edu.co/es/formacion/pregrado/ingenieria-electronica.html>

El flujo de trabajo que se ha establecido en el laboratorio permite realizar diseños, implementarlos y evaluar su funcionalidad en una FPGA. El punto de partida es una guía de laboratorio o una serie de especificaciones de diseño. A medida que el curso avanza, se espera que el estudiante vaya mejorando su comprensión del flujo de trabajo. Este abarca etapas de diseño, codificación usando un HDL, simulación, validación y síntesis, como se observa en la Figura 4-2. El primer paso es la comprensión de los requerimientos del diseño. El estudiante debe tener claridad sobre ello para incursionar en el flujo de trabajo. A lo largo del flujo de trabajo es posible que se presenten iteraciones para asegurar

el buen funcionamiento. Finalmente, se realiza la implementación en una FPGA para observar el comportamiento. Si el diseño requiere correcciones, se puede volver a alguna de las etapas y así pulir el resultado final. En la parte final del curso, se espera que el estudiante pueda lograr un diseño exitoso apoyado en el flujo de trabajo.



Figura 4-2.: Flujo de trabajo con FPGA simplificado. Basado en Ong *et al.* (2018) e Intel Corporation (s.f.).

Finalmente, la asignatura comprende temáticas que involucran lógica combinacional, secuencial y máquinas de estado finito (FSM, por sus siglas en inglés). En ocasiones, la temática se puede complementar con conceptos de memorias, procesadores y protocolos de comunicación.

4.1.2. Enfoque usual de prácticas de laboratorio

El laboratorio de electrónica digital busca destinar prácticas para que los estudiantes complementen y consoliden la información recibida de forma magistral. En el contexto de la parte práctica de la asignatura en la UNAL, una *práctica* corresponde a una actividad realizada por el estudiante entorno al laboratorio. Integra elementos como el espacio de laboratorio, elementos de medición y experimentación. No obstante, el estudiante necesita de algunas instrucciones y orientaciones al respecto. Para este fin, se crean guías de laboratorio que presentan a los estudiantes los objetivos, las especificaciones y solicitudes de diseño. En algunos casos también se describen procedimientos detallados o se incorpora alguna explicación o contextualización para mayor claridad del tema.

Usualmente, las prácticas involucran conceptos de lógica combinacional y secuencial, así como diseño de máquinas de estado finito (FSM, por sus siglas en inglés). Los docentes a cargo del laboratorio suelen establecer entre 5 y 7 prácticas a lo largo del semestre académico de 16 semanas de duración. Una de ellas se constituye como una práctica de introducción. En esta etapa, los estudiantes conocen los dispositivos FPGA, el software que deben instalar y establecen grupos de trabajo. Una vez que se han completado las prácticas, los estudiantes pueden o no desarrollar un proyecto final donde aplican los conocimientos y habilidades adquiridos. Esto dependerá del docente y del número total de prácticas dispuestas. Es posible que las prácticas presenten cierta complejidad, lo que restringe el tiempo final disponible para el desarrollo de un proyecto final. Típicamente este puede tomar alrededor de 1 mes de trabajo. En la Tabla 4-1 se observa la distribución de prácticas en relación con la temática de la asignatura. Si el docente lo considera apropiado, pueden incluirse otras actividades de consulta de alguna temática o concepto puntual.

Tabla 4-1.: Distribución de prácticas por temática usual para la asignatura Electrónica digital 1. Se listan otras actividades que pueden llevarse a cabo en el desarrollo práctico de la asignatura.

Temática de cada práctica	# de prácticas
Práctica introductoria	1 a 2
Lógica combinacional	1 a 2
Lógica secuencial	1 a 2
Máquinas de estado FSM	1
<i>Actividades adicionales (opcional)</i>	
•Presentación de algún tema relacionado con electrónica digital. Ej: protocolo SPI.	
•Proyecto final aplicado.	

A lo largo de los últimos años, el área encargada del laboratorio ha mejorado la disponibilidad de recursos para los estudiantes. Entre los beneficios se encuentra el préstamo extraclase. Con este beneficio, los estudiantes pueden acceder a una FPGA para la práctica en sitios preestablecidos y en diversos horarios. En algunas ocasiones, es posible el préstamo de equipo para la casa, de acuerdo con la demanda de usuarios. Adicional a esto, se ha incrementado el número de FPGAs, equipos de medición y periféricos disponibles. Todo ello ha derivado en mejor cobertura para la práctica en el laboratorio.

4.1.3. Recursos de la modalidad HO

La modalidad Hands-On (HO) o tradicional se ha aplicado en el componente de laboratorio, para la asignatura electrónica digital 1 en la UNAL. En esta modalidad, los estudiantes deben organizar el software a instalar acorde a la tarjeta FPGA disponible para el curso. Por ello, se procuró que los re-

cursos esenciales para la práctica no fueran demasiado exigentes, en particular, en cuanto a recursos computacionales. Cabe indicar que las tarjetas disponibles para el componente práctico del curso son gestionadas por el área de almacén de laboratorios. En este sentido, la elección depende de los recursos dispuestos para cada semestre académico.

En el almacén del laboratorio, en el área de electrónica digital se encuentran dos opciones de tarjetas con FPGA para el desarrollo de la modalidad HO. Una de ellas es la Nexys4 (DDR) de Digilent², cuya síntesis y programación se pueden realizar con el software Vivado de la compañía Xilinx (filial de AMD)³. La segunda opción corresponde a FPGAs de la serie Cyclone IV, bajo la tarjeta A-C4E6E10⁴. El software que soporta el trabajo con este dispositivo es Quartus - versión Lite⁵ de la compañía Intel (previamente Altera). Para la elección de la tarjeta FPGA y su software de trabajo, se tuvieron en cuenta las necesidades de cómputo para la instalación local:

- Espacio de instalación: Vivado suele ocupar más espacio en disco que Quartus
- Similitud con el LR: el LR de Labsland trabaja basado en Quartus, aunque su uso es transparente para el usuario de Labsland. Sin embargo, para incorporar archivos .qsf (extensión Quartus de asignación pines I/O), podría ser ventajoso trabajar con Quartus en el HO.
- Tarjetas con FPGA: las tarjetas de Intel de la serie Cyclone también son desplegadas por Labsland. Sería otro punto de coincidencia entre LR y HO.
- Simulación: tanto Vivado como Quartus ofrecen entornos para simulación pre-síntesis.
- Sistema operativo: El uso de Windows presentaría menores problemas de manera inmediata, debido al desconocimiento en el manejo de Linux por parte de algunos estudiantes. Además, la instalación de una distribución Linux podría suponer un esfuerzo adicional que podría afectar los tiempos y el avance. No obstante, no se limitaría este aspecto a aquellos estudiantes que quisieran explorar o trabajar en otro sistema operativo.

Por lo tanto, la elección más adecuada para la ejecución de la modalidad HO fue la tarjeta A-C4E6E10, con FPGA de la serie Cyclone IV.

4.2. Conformación del laboratorio híbrido (LH): combinación HO + LR

La conformación del laboratorio híbrido (LH) se realizó mediante la integración de dos modalidades: Hands-On (HO) y remota (LR). El laboratorio HO o tradicional corresponde a la modalidad que se

²<https://digilent.com/reference/programmable-logic/nexys-4-ddr/start>

³<https://www.xilinx.com/products/design-tools/vivado.html>

⁴<https://jborza.com/hardware/2020/10/04/my-first-altera-fpga.html>

⁵<https://www.intel.com/content/www/es/products/details/fpga/development-tools/quartus-prime.html>

ha venido aplicando en la UNAL. El laboratorio remoto (LR) se seleccionó mediante la metodología aplicada en el Capítulo 3. Se eligieron los servicios de laboratorio remoto con FPGA ofrecidos por Labsland⁶.

El procedimiento para la integración se dividió en tres etapas. La primera etapa tomó como base de trabajo primordial a la modalidad HO. Involucró la revisión de la temática que se aborda en los cursos de electrónica digital en la UNAL. También se revisó el desarrollo de la parte práctica en el laboratorio. Esto ya se realizó en secciones previas. La segunda etapa consistió en revisar al detalle las posibilidades que brinda el LR de Labsland. Esto ya fue revisado en el Capítulo 3, aunque en este punto se agregó una comparación con la temática que se aborda normalmente en la modalidad HO. Esta comparación se presenta a continuación en la sección 4.2.1. En este orden de ideas, una tercera etapa consistió en establecer el número, temática y modalidad a aplicar en cada una de las prácticas de laboratorio individual.

La conformación del laboratorio híbrido fue de tipo *flipped*. Corresponde a la integración de dos o más modalidades que se van alternando en su utilización. Con ello, se buscó reunir los beneficios de cada una de ellas (Velosa, 2020). Con ello, la idea fue la de establecer un número de prácticas totales. De ahí se dividirían entre las prácticas para realizar en una y otra modalidad. Por esta razón, la temática de partida para realizar esta comparación fue la que se ha trabajado usualmente en la UNAL. En este trabajo no se buscó realizar cambios en los contenidos de la asignatura.

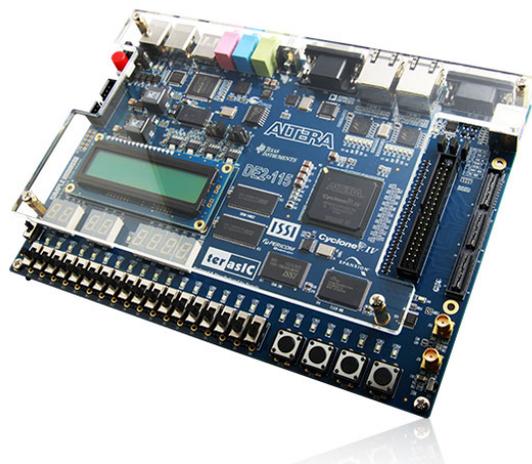
4.2.1. Posibilidades del LR de Labsland para abarcar la temática del laboratorio HO de la UNAL

El laboratorio remoto con FPGA que ofreció Labsland presenta posibilidades de trabajo adecuadas para electrónica digital. Contiene elementos necesarios para la realización de pruebas en la implementación. En primera instancia, Labsland dispuso dos opciones de tarjetas con FPGA, Terasic DE2-115 (Figura 4-3a) y Terasic DE1-SoC (Figura 4-3b). Estas fueron manufacturadas por Altera (ahora Intel⁷). Incorporan FPGAs de tipo Cyclone IV y V, y para su configuración es necesario contar con las herramientas de software Quartus instaladas. Esto no lo tiene que realizar propiamente el usuario. La instalación local no es necesaria para el trabajo con el LR de Labsland, puesto que todo se gestiona remotamente.

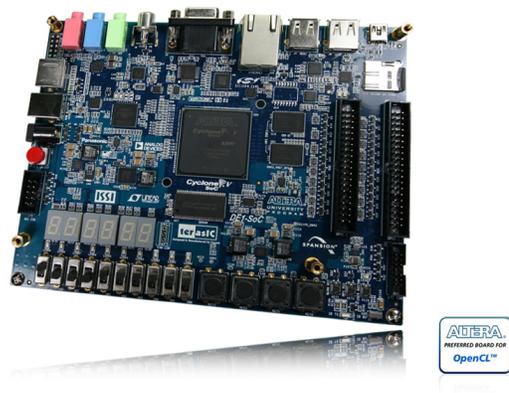
Con lo anterior, la solución LR de Labsland constituyó una elección que permitiría gran margen de maniobra para el diseño digital. El editor de código presenta el potencial de aceptar cualquier diseño sin importar su complejidad. Si se trata de un diseño con HDL que reúne varios archivos, el estudiante podría subirlos sin problema, siempre y cuando la jerarquía de los mismos sea correcta en el código.

⁶<https://labsland.com/es>

⁷<https://www.intel.com/content/www/us/en/products/programmable.html>



(a) Terasic DE2-115 Tomada de www.terasic.com.
tw/



(b) Terasic DE1-SoC Tomada de www.terasic.com.
tw/

Figura 4-3.: Tarjetas FPGA ofrecidas por Labsland en sus laboratorios remotos.

Tanto el lenguaje Verilog como VHDL son soportados para la síntesis. Quizá las únicas restricciones corresponden a las capacidades máximas propias del dispositivo FPGA. También, al tratarse de un entorno remoto, no habría posibilidad de agregar algún periférico en particular. En este caso, el estudiante debería remitirse al laboratorio tradicional. Otro detalle importante consiste en asignar de forma correcta los nombres para acceder a los periféricos, como se mostró antes en la Figura 3-8.

Las posibilidades que brinda Labsland son destacables para la codificación e implementación en FPGA. No obstante, carece de un modo de simulación incluido que permita evaluar el comportamiento del diseño a detalle. La simulación hace parte del flujo de trabajo en el laboratorio tradicional HO. En esta modalidad, los estudiantes requieren de la instalación local de software en sus equipos. Así, con el fin de abordar esta fase, se optó por utilizar las herramientas de simulación que normalmente se emplean. Entre las posibilidades, se encuentra la combinación GTKWave⁸ + Icarus Verilog⁹, aunque su uso es óptimo en distribuciones Linux. Otra posibilidad era que los estudiantes usaran la herramienta de simulación que trae el software EDA utilizado en la modalidad HO, para sistema Windows, tal como lo realizaron en Monzo *et al.* (2021) con ModelSim¹⁰. Una tercera posibilidad se presentó con los simuladores online tales como EDA Playground¹¹. Todas ellas son válidas para cubrir totalmente el flujo de trabajo.

Dadas las capacidades del LR de Labsland, la temática de la asignatura en su parte práctica puede ser

⁸<https://github.com/gtkwave/gtkwave>

⁹<https://github.com/steveicarus/iverilog>

¹⁰<https://www.intel.com/content/www/us/en/support/programmable/support-resources/design-software/modelsim.html>

¹¹<https://edaplayground.com/>

cubierta en su mayoría. Es preciso mencionar que las guías de laboratorio deben ser diseñadas acorde a las posibilidades que ofrecen los recursos, tanto presenciales como remotos.

4.2.2. Esquema de prácticas a realizar en el laboratorio híbrido (LH)

El LR de Labsland permite abordar y trabajar toda la temática que se ha trabajado en la modalidad HO. Por lo tanto, para establecer el laboratorio híbrido (LH), bastó con asignar algunas prácticas para obtener la alternancia de modalidades (LH de tipo *flipped*). En esta sección se detalla cuáles prácticas se asignaron a cada modalidad del laboratorio híbrido, así como el número total de ellas y su temática relacionada.

Con este fin, se revisaron algunos inconvenientes que se pueden presentar en los laboratorios remotos en general. Con este ejercicio, se podrían asignar prácticas que presenten mejor desempeño en el LR y dejar las demás para la modalidad HO. Por ejemplo, en Magyari y Chen (2021) se menciona la latencia como un factor a tener presente en pruebas con FPGA. Si el diseño a probar involucra requerimientos de tiempo precisos, la interacción entre el usuario y la FPGA se puede comprometer. En este caso, los autores midieron la latencia desde que el usuario introduce algún cambio de entrada y la FPGA responde de vuelta. Es decir, la medición se hizo desde la UI (interfaz de usuario) hasta la FPGA y su respuesta de vuelta a la UI. El valor reportado es cercano a 200 ms, lo que implica una respuesta de 100 ms desde la FPGA a la UI. Es un retraso que no presenta inconveniente para la gran mayoría de diseños usuales del laboratorio de electrónica digital. Este tipo de inconvenientes también fue señalado por Jethra *et al.* (2014), donde recomienda que este tipo de iniciativas remotas sean usadas en aplicaciones de bajas frecuencias.

Con lo expuesto previamente, las prácticas que serían más susceptibles de presentar algún problema son aquellas que trabajan a altas frecuencias o con tiempos muy cortos. Esto aplicaría especialmente a las prácticas relacionadas con lógica secuencial y máquinas de estado finito (FSM). En el evento de transiciones rápidas, cabe la posibilidad de no poder observar bien el resultado. Es oportuno mencionar que esto podría verse aún más afectado por variables externas a Labsland como el estado de la red, el ancho de banda y la funcionalidad del navegador en el host.

Con lo anterior, se estableció que cada modalidad acogería la realización de una práctica para cada temática principal. Para lógica combinacional, por ejemplo, se establecieron dos prácticas. Una de ellas se realizaría en el laboratorio HO y la otra en el LR. De la misma forma se actuó con las temáticas Lógica secuencial y FSM. En la Tabla 4-2 se observa la distribución final de prácticas. Allí también se encuentran los temas y conceptos puntuales que se abordarían en cada una de ellas. Se encuentra la actividad a realizar en cada práctica, para completar seis en total.

A partir de lo anterior y acorde al número de prácticas realizadas usualmente en la asignatura Elec-

trónica Digital 1 en la UNAL, se estableció un total de seis prácticas. La mitad de las prácticas serían realizadas en la modalidad HO, es decir, tres de ellas. Las restantes tres serían realizadas en el LR de Labsland. Ahora bien, este direccionamiento de prácticas a cada modalidad se entregaría a los estudiantes a modo de sugerencia. Se les solicitaría, que en la medida de lo posible, siguieran la distribución de prácticas sugerida. Es decir, ellos tenían libertad de elegir la modalidad en la cual querían realizar cada una de las prácticas.

Tabla 4-2.: Distribución de prácticas establecidas para cada modalidad y temática, incluyendo las actividades planteadas para cada una de ellas.

Temática	# de práctica	Modalidad sugerida	Posibles opciones de práctica
Introducción 1	-	HO	Contacto inicial con esta modalidad de laboratorio
Introducción 2	-	LR	Contacto inicial con esta modalidad de laboratorio
Combinacional	1	HO	Sumador 1 bit Sumador de 4 bits
	2	LR	Decodificador BCD a hexadecimal 7 segmentos
Secuencial	3	HO	Modulación ancho pulso (PWM) para control de brillo de un LED
	4	LR	Contador parametrizable de 0 a 59 segundos
FSM	5	HO	Encendido secuencial de LEDs usando una FSM Moore (Finite State Machine)
	6	LR	FSM Moore aplicada

Cabe señalar la importancia de establecer prácticas introductorias adicionales a las establecidas por temática. En este caso, se estimó necesario una práctica introductoria para cada modalidad. Así, los estudiantes tendrían ocasión de conocer las tarjetas y sus capacidades, realizar una actividad introductoria (con el objetivo de encender un LED) con cada una de ellas y examinar el software/plataforma web. De hecho, Labsland cuenta con material introductorio para sus laboratorios. La información fue dispuesta para que los estudiantes pudieran comenzar pronto con la experimentación. En otros casos, si el estudiante quería migrar una práctica de modalidad HO a LR, sólo con algunas adaptaciones menores de código podría realizarlo.

4.2.3. Estructura de la práctica (HO y LR)

Acorde al esquema de prácticas propuesto en la sección anterior, se revisó el detalle de la práctica como elemento individual. Es decir, se buscó establecer con mayor detalle la estructura y elementos a tener en cuenta en cada una de las seis prácticas planteadas. Esta estructura aplica ambas modalidades de laboratorio integradas en el LH, es decir, HO y LR.

Un elemento a tener en cuenta para cada práctica fue la dificultad en su desarrollo por parte del estudiante. Con la información mostrada previamente en la Tabla 4-2, las actividades debían ser especificadas para informar a los estudiantes a lo largo del semestre académico. Para este fin, cada una de las actividades fue desarrollada por el docente, con anterioridad al inicio del curso. De esta manera, se podría revisar la dificultad percibida para realizar ajustes si eran necesarios. Si el diseño era demasiado complejo o trivial, se ajustarían las especificaciones de la actividad. Este fue un ejercicio apropiado que permitió refinar el material de las guías de práctica. Además, con ello se tuvo una idea general del tiempo que podría tomar todo el flujo de trabajo desde el diseño hasta la implementación y pruebas en FPGA.

Por otro lado, se revisó el detalle de la estructura de cada práctica individual. Esto abarcaría detalles temporales como el tiempo de práctica, el trabajo previo a realizar, el desarrollo de la práctica y los elementos de guía para el estudiante. Puesto que la sesión presencial de laboratorio asignada es de 2 horas por semana, se tuvieron en cuenta las siguientes consideraciones para la gestión del tiempo:

- Los estudiantes tendrían que realizar un trabajo previo, a modo de preinforme. Allí podrían considerar las especificaciones y el diseño a realizar.
- El docente presentaría aspectos de la práctica de forma general, al inicio de la sesión. Este sería un espacio para aclarar dudas y comentarios de los estudiantes.
- El tiempo restante sería usado con preferencia para la implementación y pruebas en FPGA.

Así mismo, la estructura general para la guía de laboratorio contempló los siguientes elementos:

- Objetivo
- Breve fundamento teórico o notas generales para guía y conceptualización
- Modalidad sugerida en cada sesión de laboratorio para la ejecución de la práctica (aplicable al grupo experimental GE)
- Explicación de actividad a realizar en la práctica
- Esquemas - Diagramas relacionados - archivos adjuntos de apoyo
- Entregables
- Consultas adicionales

4.3. Metodología de la intervención educativa

4.3.1. Intervención educativa mediante un tipo de estudio cuasi-experimental

El trabajo previo a esta sección se orientó a la selección de un laboratorio remoto (LR) adecuado para ser integrado en una nueva modalidad híbrida (LH). También se indagó sobre las temáticas a aplicar en el laboratorio como componente práctico de la asignatura Electrónica Digital 1. En este punto del trabajo, el diseño y preparación del estudio fue direccionado por la pregunta de investigación planteada en el inicio: ¿cuál es el efecto de aplicar la modalidad de laboratorio híbrido en el desempeño académico y la motivación en el aprendizaje de un HDL de los estudiantes de electrónica digital?. De ahí que las variables determinadas para su medición fueron la motivación por aprender y el rendimiento académico.

Para el diseño de la intervención se establecieron algunos aspectos centrales. Para este fin, un primer paso consistió en definir el tipo de estudio a realizar. La intervención se planteó como un estudio de tipo cuasiexperimental involucrando dos grupos de estudiantes: grupo control (GC) y grupo experimental (GE). El siguiente paso consistió en definir las variables dependientes e independientes, así como la hipótesis a explorar. En el estudio, la variable independiente corresponde a la modalidad de laboratorio híbrida (LH). Esta se asoció a los grupos GC y GE de la siguiente manera:

- GC: modalidad tradicional (HO), sin intervención del LH
- GE: reciben la intervención educativa al tener disponible el LH

Las temáticas del componente práctico de la asignatura Electrónica Digital 1 se entregaron a ambos grupos por igual. De esta forma, las variables dependientes rendimiento y motivación podrían ser o no afectadas en alguna forma. Como hipótesis, se planteó que la intervención educativa podría generar efectos en el grupo experimental (GE) para las variables dependientes. Esto sería motivo de análisis a partir de los datos obtenidos en la experiencia para ambos grupos.

El tipo de muestreo aplicado fue no probabilístico por conveniencia. Se trata de la selección de muestras acorde a la disponibilidad y el acceso de las mismas (Hernández *et al.*, 2014). En este caso, se realizó la selección de los grupos tal y como estaban dispuestos, producto de la dinámica de la inscripción de los estudiantes al curso. La disponibilidad resultante fue de dos grupos, uno de los cuales se designó como GC y el otro como GE. Además, el estudio es de tipo exploratorio: no se sabe qué pasará con el experimento, si el laboratorio híbrido (LH) permitirá o no mejorar el desempeño y motivación con relación al aprendizaje de un HDL.

Acercas de la recolección de datos, se establecieron varios momentos puntuales para este fin. Una de ellos se llevó a cabo al inicio de la experiencia con el instrumento MSLQ-Colombia. Este se constituye

como un elemento central para la obtención de datos para la Motivación por aprender. Consta de un test al inicio (Pre-Test) y un test que se aplica una vez ha finalizado la intervención educativa (Post-Test). Este instrumento se explica con mayor detalle en la Sección 4.3.5. De esta manera, el primer momento de recolección consistió en la aplicación de un Pre-Test con el MSLQ-Colombia en ambos grupos (GC y GE). Durante la experiencia, se recolectaron las calificaciones de los seis informes de laboratorio realizados por los estudiantes. Estos dieron cuenta de los resultados en cada práctica de laboratorio. Así se constituyó un insumo que sería de utilidad para el análisis de la variable rendimiento académico. Un nuevo momento de recolección se efectuó al final de la experiencia, aplicando un Post-Test con el instrumento MSLQ-Colombia en ambos grupos. En este momento también se aplicó una encuesta de percepción, esta vez sólo en el grupo experimental (GE).

A partir del planteamiento de la pregunta de investigación y las variables involucradas, se estableció la necesidad de aplicar un enfoque mixto en la recolección y análisis de los datos. Un estudio de métodos mixtos se refiere a la integración de varios procesos de investigación que involucra la recolección de datos cuantitativos y cualitativos. Su objetivo reside en el hecho de obtener una comprensión más completa y amplia del fenómeno en cuestión (Hernández *et al.*, 2014). A este fin, los datos cuantitativos fueron recolectados a partir de los test Pre y Post del MSLQ-Colombia. Para ello se hizo uso de preguntas con escala de Likert de 7 niveles de respuesta. Otro segmento de datos fueron las notas de los informes y scripts de laboratorio presentados por los estudiantes. Por otra parte, los datos cualitativos se refieren a la información que se obtuvo a través de la encuesta de percepción aplicada al GE. Esto permitió recopilar las opiniones de los estudiantes sobre la experiencia, a través de preguntas previamente diseñadas para este propósito. Se buscó obtener opiniones acerca de la percepción de los estudiantes acerca de su interacción con el LH, los aspectos motivacionales y el desempeño en general en el componente de laboratorio de la asignatura.

El lenguaje HDL a utilizar en ambos grupos, GE y GC, fue Verilog. De igual modo, se mantuvo el flujo de trabajo visto en la Sección 4.1, que involucra la comprensión del problema o requerimiento. A ello sigue la etapa de diseño, codificación, simulación y una validación en este punto. Después, continúa la síntesis e implementación en FPGA, para realizar pruebas de funcionamiento. Se pidió a los estudiantes que se organizaran por equipos de trabajo, de tres integrantes por equipo como es usual en este componente de la asignatura.

4.3.2. Procedimiento para la intervención educativa

El procedimiento que siguió a la preparación de los aspectos generales permitió la aplicación efectiva de la intervención educativa. Esta fue prevista para realizarse en el segundo semestre académico de 2022.

La intervención en los dos grupos fue diferenciada. Mientras que en el grupo control (GC) se mantuvo la modalidad tradicional como es usual, el grupo experimental (GE) fue el receptor de la modalidad

LR, en conjunto con la modalidad HO. Una vez finalizada la intervención y recolectados los datos, se dio paso al análisis para establecer posibles impactos en la motivación y el desempeño en el aprendizaje de un HDL. La aplicación de los instrumentos y momentos de recolección de datos, así como los grupos involucrados acorde a la metodología presentada se pueden observar en la Figura 4-4.

La primera etapa (1) se aplicó a los grupos GC y GE. Consistió en la presentación general del laboratorio, familiarización con términos usuales y equipo de práctica. En esta etapa también se indicaron las reglas de seguridad del laboratorio. En relación con asuntos de evaluación, se indicaron las fechas tentativas y entregas a realizar. Adicionalmente, se presentó información sobre la intervención educativa a los estudiantes de ambos grupos, con información diferenciada para GC y GE. Esta parte consistió en un primer contacto, donde se indicaron algunas características a tener en cuenta en cada grupo. Entre ellas, se destacó que la participación en la intervención no tendría efecto alguno en las calificaciones. Se explicó, además, la motivación de la intervención. Con su participación, los estudiantes podrían colaborar en gran manera para este trabajo como un paso valioso en la comprensión del impacto en el aprendizaje de un HDL.

La siguiente etapa (2) consistió en el empleo del instrumento MSLQ-Colombia. En este punto se aplicó un Pre-Pest de forma individual, en ambos grupos (GC y GE). Se insistió en la información presentada en la sesión anterior, que hablaba sobre la participación voluntaria, el tratamiento responsable de los datos personales y la petición para abordar el test con la mayor honestidad posible. Se puso a disposición la posibilidad de poder apartarse en cualquier momento de la intervención educativa sin ningún tipo de inconveniente. Se les pidió que contestaran las preguntas de forma consciente y en calma. Una vez finalizado el Pre-Test, se incursionó en la temática. Se presentó una introducción a las FPGAs y elementos preliminares de Verilog. Esto incluyó el uso e interacción con el software Quartus y algunos conceptos clave como síntesis y simulación. También en esta etapa se ratificaron los equipos de trabajo, típicamente de 3 integrantes cada uno.

Además, en el grupo experimental (GE) se dio una breve introducción al laboratorio remoto (LR) de Labsland. Se presentó el entorno, el dispositivo FPGA remoto y mostró su funcionamiento. Se presentó un corto ejemplo para ilustrar el funcionamiento de los periféricos y el modo de trabajo en general. También, se realizó el respectivo registro en la plataforma de Labsland. Para esto, se dieron algunas instrucciones para esta actividad como el hecho de realizar el registro involucrando el número del equipo de trabajo, con el fin de facilitar el análisis de datos en el futuro.

Una tercera etapa (3) fue destinada para ajustar el entorno de cada equipo de trabajo. Se realizó un acompañamiento para la puesta a punto de herramientas de trabajo de la modalidad HO. Esta acción se realizó en ambos grupos, GC y GE. En esta etapa también se realizaron algunos ejercicios básicos basados en compuertas lógicas. Estos ejercicios fueron realizados bajo una guía o práctica introductoria, aunque no calificables dentro del grupo de prácticas principales. No obstante, fueron valorados para la calificación final del laboratorio. De manera exclusiva, en el grupo experimental (GE) se hicie-

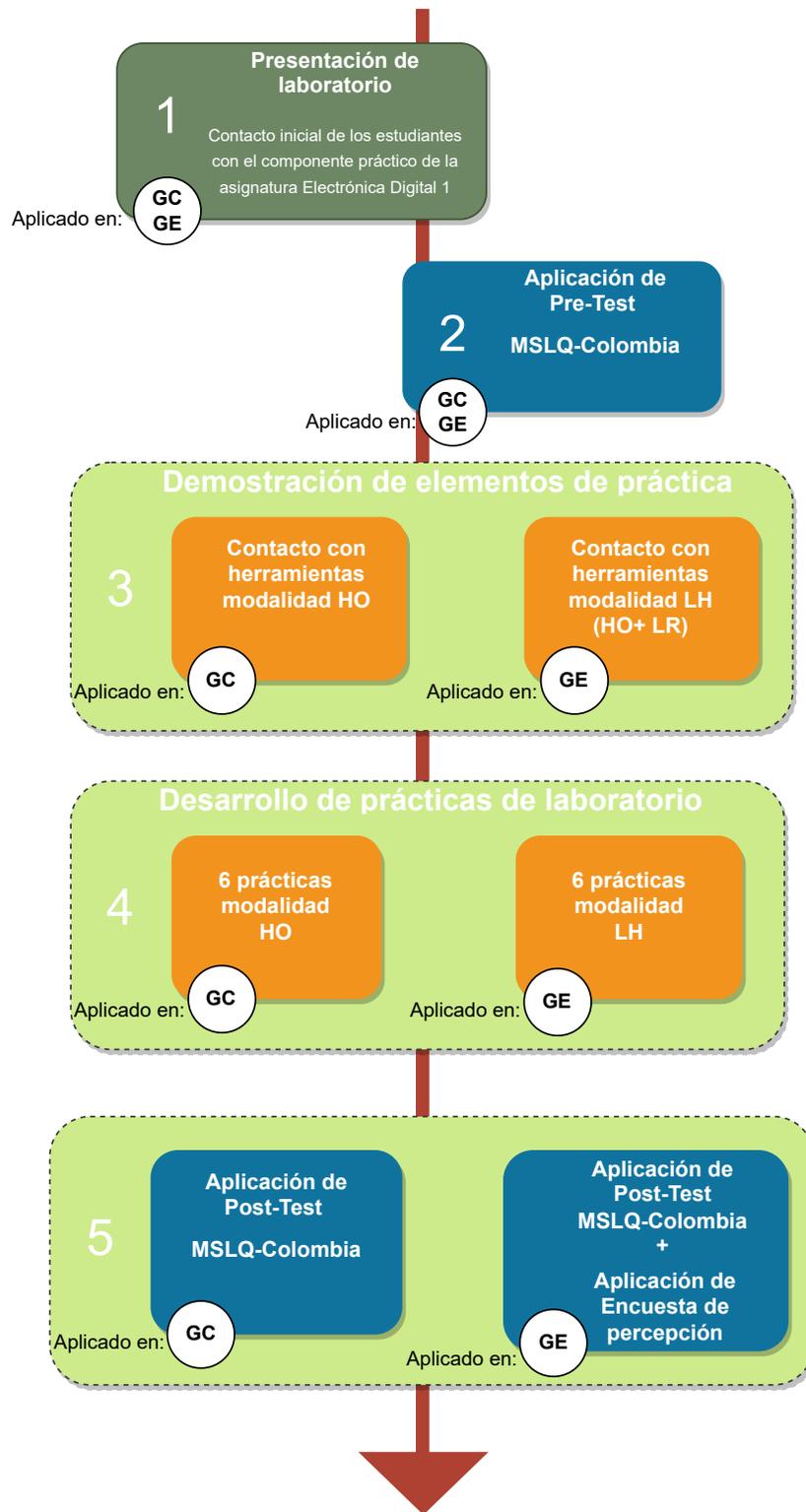


Figura 4-4.: Metodología aplicada durante la intervención educativa. GE: Grupo Experimental - GC: Grupo Control

ron algunos ejercicios básicos usando el LR, a modo de práctica introductoria.

Posteriormente, siguió una etapa de prácticas (4), donde se desarrollaron seis en total. Fueron planeadas para que los estudiantes realizaran un trabajo previo para cada una. Luego vendría su desarrollo, abarcando el flujo de trabajo hasta las pruebas con FPGA. Como resultado, los estudiantes debían presentar un informe por equipo de trabajo. Se asignó una nota numérica al equipo de trabajo para cada informe. Este constituye uno de los insumos para obtener datos cuantitativos relacionados con el rendimiento académico. Adicionalmente, los estudiantes sometieron a revisión del docente los scripts de Verilog de cada práctica. Allí también se asignaría un valor numérico para obtener otra fuente de datos. Esta etapa fue similar para el grupo control (GC) y para el grupo experimental (GE), excepto aquellas prácticas o pruebas realizadas con el LR.

Vale mencionar que la estructura de las prácticas siguió la línea general presentada en la Sección 4.2.3. El tiempo de laboratorio en el grupo experimental (GE) fue aprovechado de forma presencial. Es decir, los estudiantes debían seguir asistiendo a este espacio, aún con la disponibilidad del laboratorio remoto (LR). Así se podría mantener el acompañamiento y el contacto de los estudiantes en el ambiente académico. La diferencia con el GC estuvo relacionada con el equipo de laboratorio, pues tendrían a disposición el LR de Labsland para conectarse desde sus equipos personales.

Una vez finalizadas las prácticas, la última etapa (5) consistió en una segunda aplicación del instrumento MSLQ-Colombia. Esta vez correspondería al Post-test y de nuevo fue aplicado en ambos grupos, GC y GE. Además, se administró una encuesta de percepción al grupo experimental (GE) solamente. El fin de esta encuesta fue el de proporcionar datos sobre la experiencia en general con el laboratorio híbrido (LH) para el análisis cualitativo y así, complementar el análisis con los datos cuantitativos. Todo fue realizado de forma individual a cada estudiante que libremente había aceptado participar en el estudio.

Con la aplicación de los últimos instrumentos, solo restaba la organización de los datos recolectados. Así finalizó la intervención educativa con los estudiantes de un curso de electrónica digital 1 en su componente práctico. Para conocer el impacto esta intervención, restaba la organización y revisión de los datos. Luego vendría el análisis enfocado en la motivación y el rendimiento para conocer efectos en el aprendizaje de un HDL.

4.3.3. Cronograma de actividades

La intervención educativa tuvo una duración de 10 semanas y ocurrió durante el segundo semestre de 2022. Para aumentar la posibilidad de que los estudiantes se mantuvieran en el curso y en la experiencia, hubo que esperar hasta la segunda semana del semestre académico. Así, los grupos con los estudiantes matriculados estarían ya definidos y el calendario podría ir a mejor ritmo. En la Tabla 4-3 se observa el desarrollo de las actividades hasta la culminación de la experiencia.

Tabla 4-3.: Cronograma aplicado en la intervención educativa

Semana	Actividad Principal	Detalles
1	Presentación general e introducción al laboratorio práctico	<ul style="list-style-type: none"> - Reglas de laboratorio (seguridad, implementos, trabajo sugerido, fechas) - Conformación preliminar de equipos de trabajo - Explicación de verilog básico - procedimental, funcional - Comentario y propuesta de participación en la intervención educativa
2	Pre-Test MSLQ-Col	<ul style="list-style-type: none"> - Aplicación de cuestionario MSLQ-Colombia Pre-Test - Puesta a punto instalación Quartus (HO) - Implementación diseño de ejemplo (crear un proyecto, creación esquemático, simulación) - Demostración del LR y su uso (GE) - Primer vistazo a la tarjeta FPGA en físico
3	Introducción 2	<ul style="list-style-type: none"> - Solución inconvenientes de instalación de software (HO) y conexión tarjeta - Práctica básica con LR (GE) - Indicaciones para la Práctica P1, preinforme e informe - Ratificación de equipos de trabajo (3 integrantes en lo posible)
4	Práctica 1 (P1) - Combinacional (sumador)	Desarrollo de práctica 1
5	Práctica 2 (P2) - Combinacional (decoder)	Desarrollo de práctica 2
6	Práctica 3 (P3) - Secuencial (PWM LED)	Desarrollo de práctica 3
7	Práctica 4 (P4) - Secuencial (Contador 00 a 59 en 7 segmentos)	Desarrollo de práctica 4

Continúa en la siguiente página

Tabla 4-3 – Continuación de la página anterior

Semana	Actividad Principal	Detalles
8	Práctica 5 (P5) - FSM Moore	Desarrollo de práctica 5
9	Práctica 6 (P6) - FSM Moore - Contador de Peaje	Desarrollo de práctica 6
10	Pre-Test MSLQ-Col Encuesta de percepción GE	- Aplicación de cuestionario MSLQ-Colombia Post-Test - Aplicación de encuesta de percepción, únicamente en grupo experimental

4.3.4. Participantes

El desarrollo de la intervención educativa fue aplicado en dos grupos de la asignatura Electrónica digital 1. El componente práctico fue el seleccionado para la intervención, mientras que el componente magistral no fue intervenido en forma alguna. Uno de los grupos fue clasificado como grupo control (GC), el otro como grupo experimental (GE). Fue en este último donde se aplicó la modalidad híbrida para conocer los efectos en el aprendizaje de un HDL, en relación con la motivación y el desempeño.

La asignatura de electrónica digital 1 fue elegida como el escenario en el cual se desarrolló la intervención educativa, específicamente en su parte práctica. Esta asignatura es el punto de partida para toda la serie de cursos bajo la agrupación Electrónica Digital. Consta de 4 créditos académicos. Se encuentra en el plan de estudios de las carreras de ingeniería eléctrica, electrónica y mecatrónica. Los estudiantes participantes de esta experiencia educativa pertenecían a estas carreras. Fue llevada a cabo en la Universidad Nacional de Colombia, sede Bogotá. Participaron 17 estudiantes en el grupo GE. El rango de edad de los participantes iba desde los 19 a los 25 años. De la totalidad, 14 eran hombres (82 %) y 3 mujeres (18 %). Los egresados de colegios públicos se contaron en 3 (18 %) y de colegios privados en 14 (82 %). Por su parte, para el grupo GC se registraron 17 participantes. El rango de edad se ubicó entre los 19 y los 22 años. Participaron 4 mujeres (24 %) y 13 hombres (76 %). Los egresados de colegios públicos se contaron en 2 (12 %) y de colegios privados en 15 (88 %).

Los dos grupos estuvieron dirigidos por el mismo docente. El contenido de prácticas y elementos de enseñanza se mantuvieron para ambos grupos, exceptuando aquellos modificables por la intervención educativa en sí misma. La selección de los grupos experimental y control se hizo por conveniencia. Esto es, los estudiantes fueron asignados a cada uno de los grupos en función de su matrícula al inicio del semestre.

Los estudiantes participantes aceptaron hacer parte de esta intervención en forma libre y voluntaria,

que ratificaron bajo la firma de un consentimiento informado.

4.3.5. Instrumentos de recolección de datos

MSLQ-Colombia

El MSLQ (Motivated Strategies for Learning Questionnaire) es un instrumento utilizado para caracterizar la motivación en el aprendizaje y el uso de estrategias de aprendizaje. Es un cuestionario de autoinforme. Fue desarrollado bajo la teoría de la autorregulación (SRL por sus siglas en inglés) por Pintrich, Smith, García & McKeachie (Pintrich *et al.*, 1993).

Ha sido ampliamente usado en investigación educativa. Es un bien establecido y validado. Consta de 15 escalas, las cuales se dividen en dos secciones: motivación con 31 ítems y estrategias de aprendizaje con 50 ítems. Estas a su vez, se subdividen en tres escalas: cognitiva, metacognitiva y gestión de recursos. Es un instrumento de amplia acogida. Su gran eficacia en la medición de la autorregulación y autoeficacia le ha conferido importante notoriedad. Permite extraer información sobre las relaciones entre motivación y aprendizaje autorregulado, exponiendo las estrategias que usan los estudiantes para aprender (Panadero, 2017). Se ha mostrado como una herramienta ampliamente usada por investigadores debido a su validez en la medición de constructos motivacionales en la SRL. Es un instrumento cuyas escalas muestran una adecuada confiabilidad interna. Además, presenta ciertas ventajas para su aplicación. Su administración es simple y extensible a estudiantes en varios rangos de edad (Schunk, 2005).

Se han realizado adaptaciones a otros idiomas y entornos locales, validando y reajustando algunos ítems para preservar la fiabilidad. En Colombia se han dado algunas adaptaciones y validaciones para contextos específicos (Villarreal-Fernández y Arroyave-Giraldo, 2022). Un ejercicio relacionado se detalla en Ramirez-Echeverry (2017). Consiste en una adaptación y validación del MSLQ para el contexto educativo en Colombia entre estudiantes de ingeniería. El instrumento resultante, el MSLQ-Colombia, presenta 30 ítems relacionados con aspectos motivacionales. Otros 45 ítems están designados para caracterizar el uso de estrategias de aprendizaje. Este instrumento provee resultados válidos y fiables similares al MSLQ original en inglés. Para responder al cuestionario, el estudiante valora su respuesta en una escala Likert de 1 a 7, común para todos los ítems. Si está de acuerdo de forma plena con el ítem, aplica el mayor valor; en otro caso, cuando no se identifica con el ítem en ningún sentido, aplica el menor valor.

Para establecer una medida válida de la motivación en los estudiantes del laboratorio de Electrónica digital 1, se hizo uso del MSLQ-Colombia. Este cuestionario de autoinforme fue utilizado solamente para la medición de la motivación por aprender. A este respecto, se hizo uso de los 30 ítems validados que se dividen en 7 subescalas, que se describen a continuación acorde al trabajo de Ramirez-Echeverry (2017):

1. Valoración de la tarea - Sub-escala 1 (SE1): Constituye un aspecto por el cual el estudiante establece un valor para determinada actividad o tarea. Además, relaciona un nivel de importancia, utilidad y pertinencia y lo conecta con su proceso de formación. Si la tarea es desafiante y aun así, el estudiante decide involucrarse en su desarrollo, es porque le ha parecido que es de utilidad, importancia y valor altos para invertir sus esfuerzos en ello.
2. Orientación hacia metas intrínsecas - Sub-escala 2 (SE2): Este aspecto permite explorar la orientación que el estudiante expone para alcanzar sus metas de aprendizaje. Algunas razones intrínsecas para aprender son la curiosidad y el deseo genuino de conocer y comprender un tema o desarrollar una actividad.
3. Orientación hacia metas extrínsecas - Sub-escala 3 (SE3): En este caso, el estudiante orienta sus esfuerzos basado en razones de naturaleza extrínseca. Algunas de ellas como las calificaciones (evaluación sumativa) o el reconocimiento social podrían ser impulsores para cumplir con sus tareas de aprendizaje. El proceso formativo se convierte en un medio para obtener becas, reconocimientos u otros factores externos distintos al aprendizaje en sí mismo.
4. Expectativas de auto-eficacia en el aprendizaje - Sub-escala 4 (SE4): En esta subescala se explora la percepción que tiene el estudiante sobre sus posibilidades para lograr éxito en el aprendizaje. Los precursores de estas expectativas están relacionados con auto-juicios de confianza y la percepción de capacidades propias. De esta forma, su pensamiento se estructura de tal manera que evalúa su expectativa de si va a comprender un tema o alcanzar las competencias en una asignatura.
5. Expectativas de auto-eficacia en el rendimiento - Sub-escala 5 (SE5): En este aspecto se exploran las expectativas del estudiante con respecto a los procesos evaluativos de una asignatura o tarea. Se revisa la percepción que él tiene acerca de las posibilidades de obtener un determinado rendimiento basado en la evaluación sumativa.
6. Creencias sobre control del aprendizaje - Sub-escala 6 (SE6): Permite explorar la percepción que el estudiante tiene sobre sus acciones para lograr un aprendizaje exitoso. Por lo tanto, podría evaluar que este aprendizaje será resultado de su propio esfuerzo y control. En otro caso, es posible que considere que su aprendizaje en realidad depende de factores externos como docentes, compañeros o la institución educativa.
7. Ansiedad en los procesos de evaluación - Sub-escala 7 (SE7): Explora si el estudiante presenta reacciones negativas o estados de ansiedad ante procesos de evaluación o requerimientos por parte de un tercero.

El instrumento MSLQ-Colombia, en sus ítems de Motivación, fue aplicado a los grupos control (GC) y experimental (GE). La primera aplicación, el Pre-Test, fue contestado por los estudiantes a través de un formulario de Google, disponible en <https://forms.gle/vL3tcxCr4tKxrAny5>. La segunda aplicación, el Post-Test, fue dispuesto en la misma forma y se encuentra disponible en <https://forms.gle/>

NnMhkpFVupbopFNJ6.

El formulario para la aplicación del Pre-Test sigue la siguiente estructura: primero se presentó un acuerdo de confidencialidad y consentimiento informado. El estudiante podría desistir en este punto o en cualquier otro momento de su participación en la intervención educativa. Luego se presentaron las preguntas acerca de las características de la población de estudiantes. Finalmente, se encuentran los 30 ítems del MSLQ-Colombia aplicados para Motivación. El formulario del Post-test presentó la misma estructura, con excepción de las preguntas de caracterización de la población que no fueron formuladas en este caso.

La forma de responder las preguntas obedece a una escala de tipo Likert, de 1 a 7. El valor más bajo significa que el ítem en cuestión no describe en absoluto la percepción del estudiante. El valor máximo indica un ítem que corresponde totalmente a la percepción (Figura 4-5).

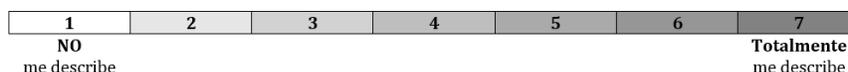


Figura 4-5.: Escala de respuestas Likert (1 a 7) para cada uno de los ítems del MSLQ-Colombia.

Los datos que fueron obtenidos fueron sometidos a una revisión y ordenamiento para su respectivo análisis. Un paso fundamental en esta vía consistió en la aplicación de una prueba de hipótesis basada en estadística. Con ello, se buscaría estimar si los resultados del estudio son generalizables a la población de la cual procede la muestra (Bryman, 2012). En el marco de este trabajo, esta prueba permitiría apreciar si se presentó algún impacto en la motivación por aprender de los estudiantes. Esta última se constituyó como variable dependiente. La aplicación de la modalidad de laboratorio híbrido fue la variable independiente. Las pruebas estadísticas se plantean bajo el escenario de una hipótesis nula (H_0) y una hipótesis alternativa (H_1). La hipótesis nula se refiere al escenario en el cual no hubo efecto o impacto significativo. Para asegurar que hubo impacto de la variable independiente, se busca que esta sea rechazada. Así, sería la hipótesis alternativa la que tomaría sentido, pues son mutuamente excluyentes (Hernández *et al.*, 2014). Por lo tanto, se comparó si existía una diferencia significativa entre los datos promedio del MSLQ-Colombia entre los dos grupos. En este sentido, se planteó la hipótesis nula H_0 y la hipótesis alternativa H_1 :

H_0 : La modalidad de laboratorio híbrido no genera ningún impacto en la motivación por aprender un HDL en los estudiantes del componente práctico de la asignatura Electrónica Digital 1

Por lo tanto, se tiene la siguiente hipótesis alternativa:

H_1 : La modalidad de laboratorio híbrido genera impacto en la motivación por aprender un HDL en los estudiantes del componente práctico de la asignatura Electrónica Digital 1

El tipo de prueba estadística a aplicar dependerá en gran medida de la naturaleza de los datos. Si se conoce su procedencia y distribución, se podrá aplicar un tipo de prueba paramétrica como la prueba *t-Student*. No obstante, en este caso los individuos no fueron escogidos aleatoriamente sino por conveniencia. Además, la muestra es relativamente pequeña (17 integrantes en cada grupo). Por esta razón, se estimó adecuado la aplicación de una prueba no paramétrica como la Prueba de los rangos con signo de Wilcoxon. Esta no exige conocer plenamente la distribución y procedencia de la muestra (Andía *et al.*, 2019).

Para que la hipótesis nula H_0 sea rechazada, como se espera en esta clase de estudios, la prueba estadística debe arrojar resultados con un nivel de confianza del 95 %. Este es un valor usual con el cual se asume que la hipótesis alternativa H_1 puede ser aceptada. Esto confiere validez al resultado, puesto que la evidencia estadística es suficiente para rechazar la hipótesis nula. Por lo tanto, el nivel de significancia a considerar es del 5 %. Así, se puede considerar un resultado estadísticamente significativo cuando el *p*-valor está por debajo del nivel de significancia ($p < 0.05$). Esto implica que si el *p*-valor de los resultados está por debajo de 0.05, es muy poco probable que el resultado obtenido se haya generado por causa del azar (Bryman, 2012). Es decir, la hipótesis alternativa podría ser adoptada y sería una indicación de que el efecto o impacto registrado es significativo y atribuible a la intervención con el laboratorio híbrido (LH).

Finalmente, con el fin de conocer el impacto en la motivación en este tipo de estudios, se suele trabajar con grupos pares. Se deben realizar dos mediciones: una antes de la intervención y otra cuando esta ha finalizado. Por lo tanto, así fue dispuesto en el diseño de la intervención educativa. Se contempló la aplicación del instrumento MSLQ-Colombia, con un Pre-test y un Post-test, tanto en el grupo experimental (GE) como en el grupo control (GC).

Encuesta de percepción

La encuesta de percepción se constituye como un método para obtener datos cualitativos. Este instrumento, a modo de cuestionario, puede dar lugar a que los participantes expresen las experiencias, sensaciones, emociones y percepciones. Si las preguntas son abiertas y están orientadas a las variables de interés en la investigación, podrían generar datos muy importantes para su gestión y análisis posterior. Es uno de los más usados para la investigación de fenómenos sociales (Hernández *et al.*, 2014).

En el contexto de esta investigación, se planteó la recolección de datos cuantitativos y cualitativos. Por lo tanto, se aplicó un cuestionario a los estudiantes del grupo experimental (GE). De esta manera, se podrían relacionar los datos cuantitativos obtenidos a partir del MSLQ-Colombia con los resultados de la encuesta. Para asegurar una mejor conexión y fiabilidad en el análisis, se propusieron preguntas asociadas con cada una de las subescalas de motivación del MSLQ-Colombia. Para cada subescala se asociaron dos preguntas. La primera de ellas debía ser respondida a través de una escala Likert. Con la segunda pregunta, los estudiantes podían responder de forma abierta, para dar explicación o

complementar su respuesta en relación con la primera pregunta. Al final del cuestionario se agregaron dos preguntas de naturaleza abierta y relacionadas con la motivación y el rendimiento académico en general. Una última pregunta de selección múltiple fue agregada para revisar las preferencias de los estudiantes por elementos puntuales del laboratorio híbrido (LH). En la Tabla 4-4 se encuentran las preguntas relacionadas en la encuesta de percepción.

Tabla 4-4.: Preguntas del cuestionario aplicado para conocer la percepción de los estudiantes del grupo experimental (GE)

Nro	Enunciado de pregunta	Tipo de respuesta	Subescala asociada
1	El laboratorio híbrido aumentó mi interés por aprender el lenguaje de descripción de hardware Verilog	Likert	Valoración de la tarea
2	¿Por qué seleccionaste la respuesta anterior?	Abierta	
3	El laboratorio híbrido incrementó mi curiosidad y el gusto por aprender el lenguaje de descripción de hardware Verilog	Likert	Metas intrínsecas
4	¿Por qué seleccionaste la respuesta anterior?	Abierta	
5	El trabajo con el laboratorio híbrido aumentó mi deseo de obtener buenas notas en esta asignatura	Likert	Metas extrínsecas
6	¿Por qué seleccionaste la respuesta anterior?	Abierta	
7	El laboratorio híbrido me permitió aumentar la confianza de que podía aprender el lenguaje de descripción de hardware Verilog	Likert	Expectativas de autoeficacia en el aprendizaje
8	¿Por qué seleccionaste la respuesta anterior?	Abierta	
9	Mis expectativas de que podía obtener buenas notas en esta asignatura aumentaron debido al trabajo con el laboratorio híbrido	Likert	Expectativas de autoeficacia en el rendimiento
10	¿Por qué seleccionaste la respuesta anterior?	Abierta	
11	La práctica con el laboratorio híbrido me ayudó a comprender que el dominio del lenguaje de descripción de hardware Verilog depende de mis propios esfuerzos	Likert	Control del aprendizaje
12	¿Por qué seleccionaste la respuesta anterior?	Abierta	
13	La experiencia con el laboratorio híbrido me permitió mejorar en la serenidad y confianza para responder a las preguntas de revisión del preinforme	Likert	Ansiedad

Continúa en la siguiente página

Tabla 4-4 – Continuación de la página anterior

Nro	Enunciado de pregunta	Tipo de respuesta	Subescala asociada
14	¿Por qué seleccionaste la respuesta anterior?	Abierta	
15	En tu opinión, ¿Usar el laboratorio híbrido en la clase práctica de esta asignatura tiene efectos en tu desempeño académico en Electrónica Digital 1?, ¿por qué?	Abierta	Percepción general sobre rendimiento académico
16	¿Consideras que el uso del laboratorio híbrido en la clase práctica de Electrónica Digital 1 influyó en tu motivación por aprender Verilog?	Abierta	Percepción general sobre motivación
	¿Qué elementos o características del laboratorio híbrido te llamaron más la atención?	Selección múltiple, múltiple respuesta	Preferencia por elementos del LH

Las preguntas de la encuesta fueron diseñadas y revisadas previamente, buscando asegurar una respuesta lo más cercana posible al significado de las sub-escalas. Se contó con la ayuda del director y co-director de tesis en esta tarea. La encuesta fue facilitada a los estudiantes del grupo experimental (GE) a través de un formulario de Google (<https://forms.gle/nfJzQ7KAtARhU1s99>). Así, se logró tener un registro de todo lo que los estudiantes expresaron en sus respuestas, particularmente en las preguntas abiertas. Este método fue elegido gracias a que podía aplicar de una forma práctica y relativamente rápida, captando información valiosa para el análisis cualitativo.

Para llevar a cabo este análisis, se realizó una exploración inicial de los datos obtenidos. Esta es una primera fase que permitió establecer algunas líneas iniciales y en general, enterarse de la información suministrada por los estudiantes. Luego siguió una fase de codificación. Allí se encuentra el ejercicio de análisis principal, ya que permite organizar la información y establecer significados de importancia central (Bryman, 2012). En particular, se empleó el procedimiento de codificación abierta, por el cual los datos “se descomponen, examinan, comparan, conceptualizan y categorizan” (Bryman, 2012). Se trata de todo un ejercicio que lleva a una agrupación de datos que se denomina *concepto*. Una agrupación de datos en un nivel superior es considerado como una *categoría*. Es un proceso iterativo y recurrente en la revisión de información y de sus posibles relaciones conceptuales. Según la dinámica del análisis y la cantidad y calidad de la información recolectada, podrían o no generarse varias categorías a través de un proceso denominado codificación axial (Bryman, 2012). A su vez, estas podrían agruparse dando lugar a significados o teorías de profundidad importante en el campo investigado a través de un proceso llamado codificación selectiva o relativización de los datos (Bryman, 2012).

Una vez realizado este procedimiento, la idea es generar descripciones y análisis en relación con las hipótesis y naturaleza del estudio planteado. Este hecho no excluye otros hallazgos de interés y profundidad que puedan haber surgido durante el proceso (categorías emergentes) (Hernández *et al.*, 2014). De esta forma, se da paso a un análisis complementario en conjunto con los resultados de los datos cuantitativos. Así, los hallazgos podrían quedar mejor consolidados.

Calificación de informes

El rendimiento académico de un estudiante puede considerarse como una suma de varios factores complejos (Rodríguez y Arenas, 2016). Entre ellos, se puede asociar el autocontrol del estudiante en su día a día académico. Por lo tanto, la organización y administración de esfuerzos por realizar tareas académicas puede resultar en un predictor del rendimiento académico (Duckworth *et al.*, 2019). Una de las tareas que se realizan en el laboratorio de electrónica digital consiste en la realización de informes de resultados. En este contexto, el rendimiento académico puede ser comprendido como la evaluación sumativa obtenida a partir de los informes de laboratorio.

En este estudio se tomaron en cuenta las calificaciones de los 6 informes de laboratorio entregados por los estudiantes. Este insumo ayuda a dar forma al análisis del impacto del laboratorio híbrido en el aprendizaje de un HDL. Además, hay una relación de teorías implicada. La autorregulación en el aprendizaje puede ser considerada como predictor del rendimiento académico. En este sentido, se puede dar una mejor interpretación de los resultados derivados del MSLQ-Colombia en relación con la motivación por aprender. De hecho, según Ramírez-Echeverry (2017), el instrumento MSLQ-Colombia podría ayudar a predecir en alguna forma el rendimiento académico, o al menos en relación con algunas de las sub-escalas. Este último es un criterio de validez externa del instrumento MSLQ, por lo cual el involucrar las calificaciones de informes podría ser enriquecedor para establecer el impacto del laboratorio híbrido (LH) en el aprendizaje de un HDL.

5. Resultados de la implementación de la intervención educativa

En este capítulo se mostrarán los resultados de la intervención educativa realizada para conocer el efecto en la motivación por aprender y el rendimiento académico. Los datos a presentar son de tipo cuantitativo y cualitativo. Los datos cuantitativos proceden de los cuestionarios Pre y Post del MSLQ-Colombia aplicados en ambos grupos, grupo control (GC) y grupo experimental (GE). También se presentan los datos de notas de informes de laboratorio. Por su parte, los datos cualitativos proceden de encuestas de percepción aplicadas a los estudiantes del GE. El análisis de estos datos y los hallazgos serán presentados una vez los resultados hayan sido mostrados.

5.1. Uso de las modalidades del laboratorio híbrido

A continuación se presentan los resultados de uso de ambas modalidades que integran el laboratorio híbrido (LH). Debido a la posibilidad de almacenar y analizar datos del laboratorio remoto (LR), se muestran más gráficas relacionadas con esta modalidad en comparación con la de tipo Hands-On (HO). Es importante mencionar y agradecer el apoyo de los colaboradores del LR de Labsland para la provisión de los datos de uso registrados durante la experiencia con los estudiantes. Los resultados de esta sección fueron publicados previamente en un artículo de conferencia (Rodríguez *et al.*, 2023)

En la figura 5-1 se observa la frecuencia de uso del LR por parte de los equipos de trabajo. El eje horizontal muestra los días de la semana y el eje vertical refleja el número de experimentos registrados para cada uno de ellos. El día con mayor uso registrado fue el día viernes. Cabe mencionar que en varias ocasiones, el plazo de entrega de informes fue fijado para este día. Por lo tanto, cabe la posibilidad de que los estudiantes hayan dejado algún segmento del desarrollo del informe para el último día de entrega. No obstante, en otras ocasiones se asignaron entregas para los días sábado e incluso para el día domingo de forma excepcional. El siguiente día más frecuentado fue el día jueves. Este día coincide con las sesiones de laboratorio asignadas de forma ordinaria como componente de la asignatura. A pesar de ser presenciales, los estudiantes podían hacer uso del LR en estas cuando lo vieran conveniente. Esto podría contribuir al conteo de usos en el día jueves. El tercer día con mayor número de usos es el lunes, aunque seguido de cerca por el día sábado. De esta forma, se observa que el LR fue usado en varios días de la semana para cumplir con las actividades del laboratorio y la práctica en general.

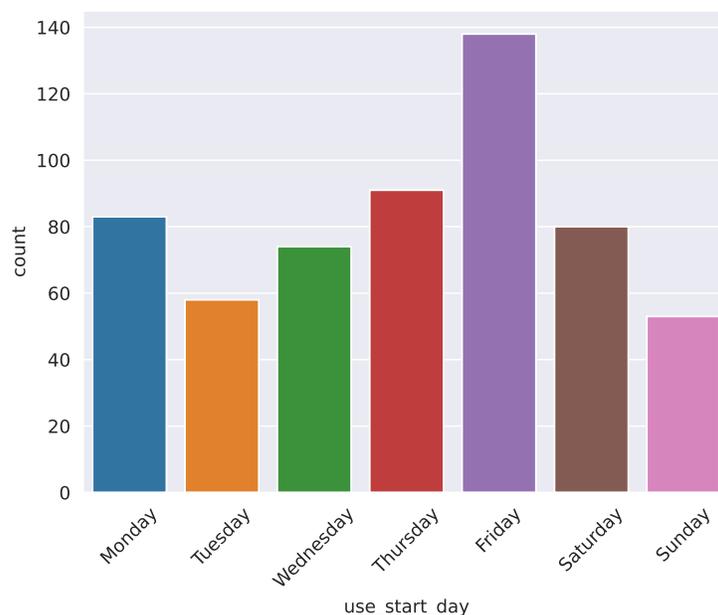


Figura 5-1.: Frecuencia de uso de experimento en el laboratorio remoto por día de la semana

Gracias a la recolección de datos de uso del LR, fue posible extraer información acerca de las horas del día más frecuentadas para experimentación. Esto se observa en la Figura 5-2. Las horas alrededor del mediodía registraron la mayor frecuencia de acceso por parte de los estudiantes. Posteriormente se encuentra gran afluencia en el uso del LR durante las horas de la noche, después de las seis de la tarde. Esto puede dar cuenta de la gran flexibilidad que ofrece este tipo de iniciativas. Es posible que los estudiantes de antemano hayan destinado bloques de trabajo en la noche para cumplir con las actividades del laboratorio. La disponibilidad que ofrece la herramienta les permitió realizar este tipo de ajustes en sus actividades académicas.

Por otra parte, los seis equipos de trabajo hicieron uso del LR de Labsland. En la Figura 5-3 se encuentra el número de experimentos totales que se registraron para cada uno de los equipos. Dos de ellos hicieron amplio uso del LR (equipo 3 y 4). En un nivel de uso medio se registraron dos equipos, 1 y 2. Los dos restantes usaron el LR en bajos niveles (equipo 5 y 6).

Finalmente, se presentan los resultados del uso de ambas modalidades por cada uno de los equipos de trabajo a lo largo de la experiencia. En la Figura 5-4 se observan los usos puntuales que hicieron los equipos en las dos modalidades de laboratorio, HO y LR. La intervención se desarrolló en el periodo de tiempo delimitado por las fechas del eje vertical (de arriba a abajo). Cabe aclarar que los datos del HO corresponden a aquellos informes de laboratorio donde se evidenció el uso de la modalidad HO para su desarrollo. En cambio, los datos de uso del LR son más numerosos en comparación con los del HO. Esto se debe a que la interacción de los estudiantes con el LR puede ser mejor regis-

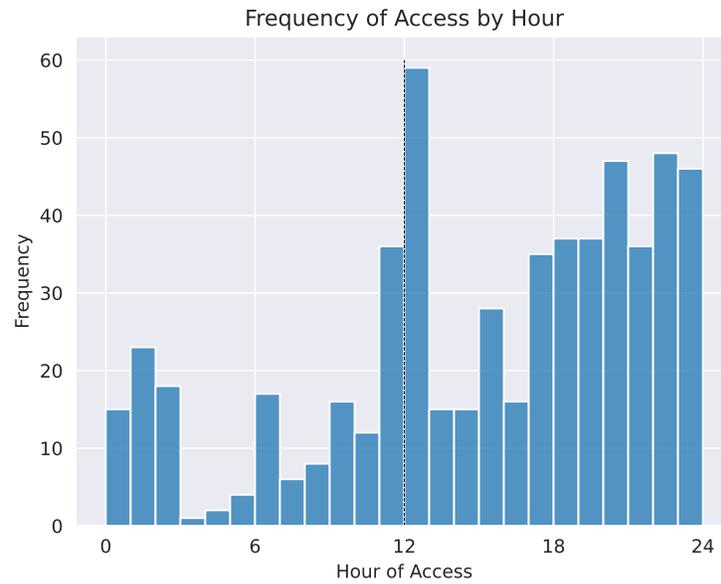


Figura 5-2.: Franjas de acceso por hora para experimentación en el laboratorio remoto

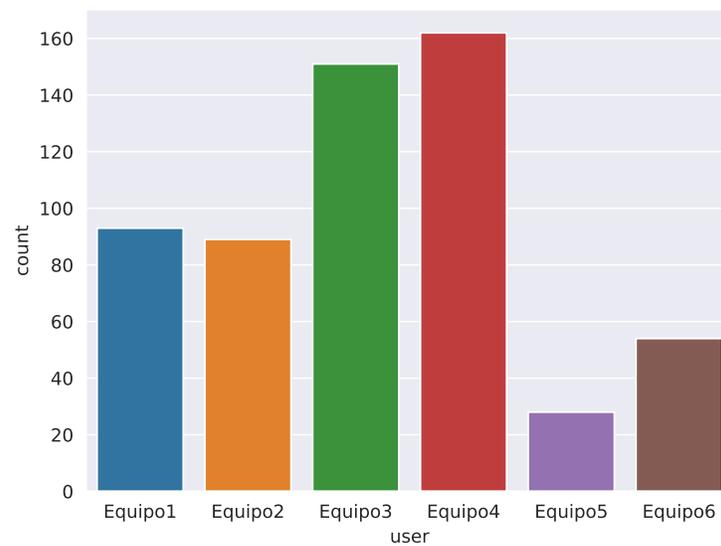


Figura 5-3.: Número de experimentos registrados por equipo de trabajo

trada en las bases de datos del proveedor. Esta acción es más difícil de reproducir en la modalidad HO.

Como resultado, se observa los equipos hicieron uso de ambas modalidades para la práctica durante toda la experiencia. Algunos equipos mostraron mayor preferencia por el LR. Otros, como el equipo 5, presentaron la mayoría de sus informes apoyados en la experimentación con el HO. Al principio de la experiencia, se observa un primer el contacto con ambas modalidades. Esto corresponde a la práctica de prueba con el LR y el primer informe realizado bajo la modalidad HO. Luego se observa la dispersión de los usos del LR, acorde a la dinámica de cada equipo. Además, se puede inferir el uso combinado de las modalidades para el desarrollo de un informe, en un corto espacio de tiempo. Equipos como el 3 y el 4 presentan usos del LR y presentación de informe apoyados en el HO. En otros casos se observa una alternancia, como en los equipos 1 y 6.

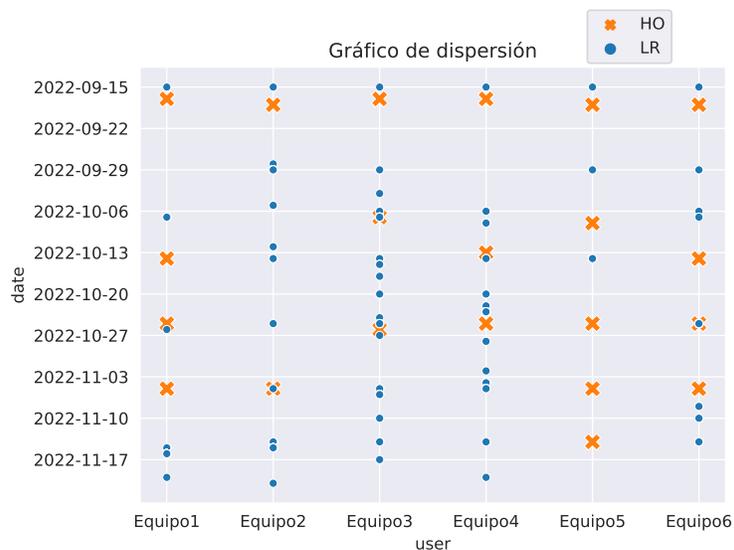


Figura 5-4.: Accesos a experimentos realizados en el laboratorio remoto (LR) y presentación de prácticas de laboratorio usando el laboratorio presencial (HO) - desde septiembre 15 a noviembre 20 de 2022

Los resultados mostrados en esta sección indican que el uso del LR fue amplio para la gran mayoría de estudiantes. Les permitió realizar su práctica en bloques de tiempo que no son accesibles dentro de los esquemas de horario diurno en el laboratorio presencial. Además, algunos equipos presentaron un conteo de experimentos importante, lo que permite inferir que realizaron repetidos ciclos de implementación y corrección del diseño. Además, hicieron uso de la modalidad HO, aún cuando se presentó la posibilidad de usar solamente el LR.

5.2. Motivación en el aprendizaje

Gracias a la utilización del instrumento MSLQ-Colombia, en esta sección se muestran los resultados derivados de su aplicación a los grupos control y experimental. Los estudiantes participantes diligenciaron dos cuestionarios, uno antes de la intervención educativa y otro con posterioridad. Estos son el Pre-Test y el Post-Test, cuyos datos cuantitativos se presentan a continuación. Adicionalmente, se realizaron algunas operaciones de estadística descriptiva y test no paramétricos para evaluar posibles impactos significativos de la intervención educativa en la motivación por aprender y en el rendimiento académico. De este modo, los resultados de estos valores estadísticos darían lugar a evidencia útil para ilustrar adecuadamente los efectos de la intervención realizada en el curso de Electrónica digital 1, en su componente práctico.

5.2.1. Grupo Control (GC) - Electrónica Digital 1

En la Figura 5-5 se observan los porcentajes de datos del Pre-Test del grupo control (GC). El eje vertical refleja cada una de las sub-escalas: SE1-Valoración de la tarea, SE2-Orientación hacia metas intrínsecas, SE3-Orientación hacia metas extrínsecas, SE4-Expectativas de auto-eficacia en el aprendizaje, SE5-Expectativas de auto-eficacia en el rendimiento, SE6-Creencias sobre control del aprendizaje, y SE7-Ansiedad en los procesos de evaluación. El eje horizontal refleja el porcentaje de respuestas para cada sub-escala. Así se puede apreciar la distribución de las respuestas entregadas por los estudiantes, acorde a la escala likert dispuesta en el cuestionario. Esta escala de 7 niveles, va desde la expresión *Totalmente NO me describe* en el nivel inferior, al nivel superior *Totalmente me describe*. El valor intermedio o neutro corresponde a la expresión *Ni me describe ni no me describe* y se ha representado con un color gris. La gama de colores *verde* muestra los valores de la escala por encima del valor intermedio. El valor más alto de la escala muestra el color verde con mayor intensidad. Los colores de gama *roja* muestran valores por debajo del valor intermedio. El valor más bajo de la escala muestra el color rojo con mayor intensidad.

A partir de la gráfica, las respuestas del Pre-Test GC muestran en general una predominancia hacia los valores superiores en la escala Likert. Las sub-escalas con mayores porcentajes de respuestas en los niveles altos de la escala son SE7-Ansiedad en los procesos de evaluación (41 %), SE6-Creencias sobre control del aprendizaje (38 %) y SE1-Valoración de la tarea (36 %). En especial, la SE con mayor predominancia de altos valores es la SE7 como indicación de que los niveles de ansiedad previos al desarrollo del componente de laboratorio fueron importantes. La SE5-Expectativas de auto-eficacia en el rendimiento presenta una gran cantidad de respuestas en las escalas superiores al valor neutro (*Ni me describe ni no me describe*). Una SE cuyas respuestas están relativamente distribuidas por toda la escala likert es SE2-Orientación hacia metas intrínsecas. Es decir, es importante para los estudiantes el hecho de aprender como un fin en sí mismo pero en niveles moderados.

En la Figura 5-6 se observan los resultados del Post-Test del grupo control (GC). Al igual que en el caso del Pre-Test, se observan los porcentajes de las respuestas recolectadas agrupadas por cada sub-

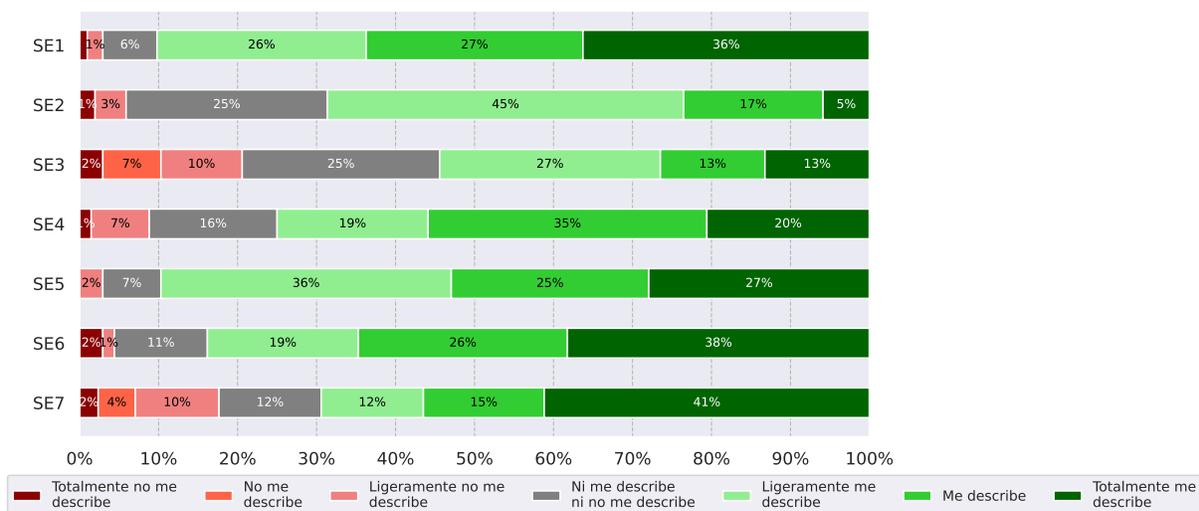


Figura 5-5.: Porcentaje de respuestas obtenidas para cada sub-escala del Pre-Test MSLQ-Colombia, en el grupo Control (GC)

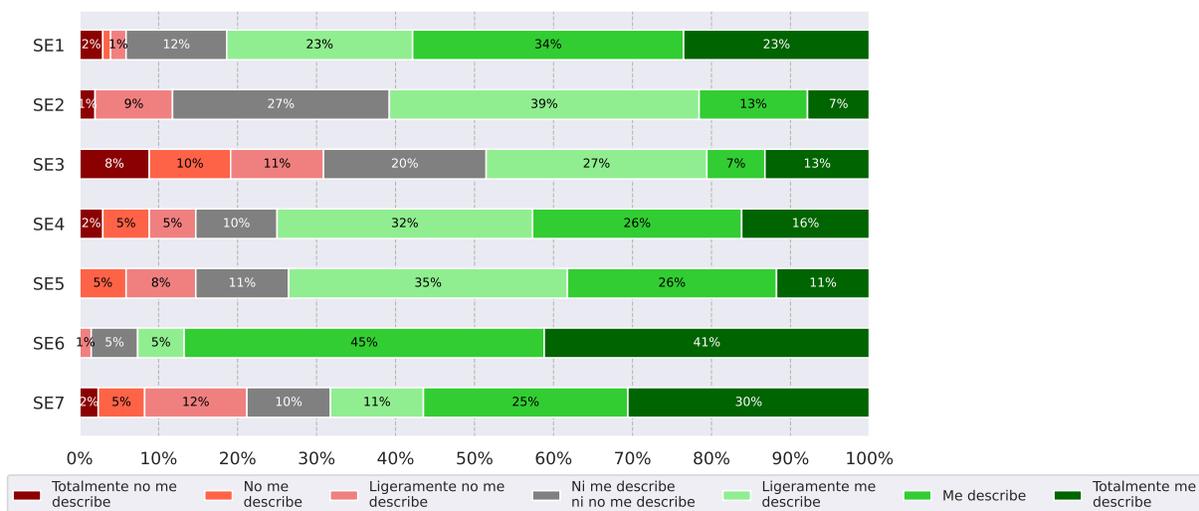


Figura 5-6.: Porcentaje de respuestas obtenidas para cada sub-escala del Post-Test MSLQ-Colombia, en el grupo Control (GC)

escala SE.

Acorde a la Figura 5-6, las sub-escalas con mayor número de respuestas en el valor más alto posible de escala Likert son la SE6, SE7 y SE1, en ese orden. En particular, la SE6 muestra un número de respuestas por encima del valor neutro muy superior a las demás sub-escalas. Por su parte, la SE3 muestra una distribución de respuestas a lo largo de la escala Likert. También concentra el mayor porcentaje de respuestas por debajo del valor intermedio o neutro.

Para evaluar si los cambios indicados son significativos, se puede recurrir a una prueba estadística. A partir de los datos recolectados del Pre-Test y Post-Test, se pueden aplicar pruebas como la *t-student* o la prueba de los rangos con signo de Wilcoxon. La escogencia de una u otra prueba depende de la naturaleza de los datos, tal como se explicó en la Sección 4.3.5 del Diseño de la intervención. En este sentido, los datos objeto de revisión proceden de una selección de participantes no aleatoria, por conveniencia. Además, los datos no contienen valores atípicos debido a que se encuentran restringidos a las opciones que ofrece la escala Likert.

Otra de las características de los datos es su distribución. En este punto, se evaluó la distribución de los datos usando una prueba estadística como la prueba de Shapiro-Wilk. Esta prueba, útil para conjuntos de datos pequeños (< 50), permite realizar una validación previa para verificar la normalidad de los datos (Thulin, 2021). Como resultado de la evaluación, se encontró que los conjuntos de datos de cada sub-escala no estaban distribuidos normalmente. En tal caso, la prueba a usar fue la de Wilcoxon. Se tomará en cuenta el valor p resultante, a partir del cual se podrá evaluar si hubo diferencias significativas entre Pre y Post-Test si $p\text{-valor} < 0.05$.

Para complementar el análisis cuantitativo, se realizó el cálculo de algunos valores estadísticos de los datos recolectados. Fueron agrupados como se observa en la Tabla 5-1. Uno de los valores calculados es el promedio, tanto para los datos del Pre-Test como los del Post-Test. Allí también se relaciona la diferencia de promedios. Otro valor calculado fue la desviación estándar, y por último, se incluyó el p -valor proveniente del test de Wilcoxon para determinar si la diferencia entre las medias es significativa o no a nivel estadístico.

Los p -valores obtenidos a partir de la prueba de Wilcoxon mostraron significancia estadística ($p < 0.05$) para las sub-escalas SE1, SE5 y SE6. Es decir, los efectos que se hayan generado en el grupo control en relación con estas sub-escalas probablemente no se deben al azar de la muestra. No obstante, los efectos fueron negativos en SE1 y SE5. El único efecto positivo significativo fue en SE6. Así, en relación con las sub-escalas SE1 y SE5, se puede decir que los estudiantes terminaron la experiencia con menor valoración de la tarea y menores expectativas acerca de su rendimiento. Por su parte, la SE6 está relacionada con el control del aprendizaje, por lo cual los estudiantes mejoraron sus expectativas en este aspecto.

Tabla 5-1.: Variables estadísticas obtenidas a partir de datos Pre-test y Post-test del grupo Control (GC)

Sub-escala de motivación (SE)	Test	Promedio	Diferencia	Desviación Estándar	Wilcoxon p-valor
SE1 Valoración de la tarea	Pre-Test	5.85	-0.35	1.15	*0.0224
	Post-Test	5.50		1.35	
SE2 Orientación hacia metas intrínsecas	Pre-Test	4.88	-0.14	1.07	0.5281
	Post-Test	4.75		1.18	
SE3 Orientación hacia metas extrínsecas	Pre-Test	4.60	-0.37	1.53	0.2342
	Post-Test	4.24		1.75	
SE4 Expectativas de auto-eficacia en el aprendizaje	Pre-Test	5.40	-0.32	1.32	0.1857
	Post-Test	5.07		1.51	
SE5 Expectativas de auto-eficacia en el rendimiento	Pre-Test	5.68	-0.65	1.06	*0.0023
	Post-Test	5.03		1.33	
SE6 Creencias sobre control del aprendizaje	Pre-Test	5.76	0.43	1.37	*0.0374
	Post-Test	6.19		0.90	
SE7 Ansiedad en los procesos de evaluación	Pre-Test	5.40	-0.16	1.74	0.4567
	Post-Test	5.24		1.73	

* p-valor < 0.05: Resultado estadísticamente significativo.

En detalle, la sub-escala SE1 presentó un 36 % en el valor más alto de escala Likert en el Pre-Test. En este punto, las respuestas por encima del valor intermedio (escala verde) registraron un 89 %, dejando un 11 % para las respuestas intermedias o por debajo de este valor. En el Post-Test se registró un 23 % en el mayor valor de la escala, y un 80 % que aglutinó los valores por encima del valor neutral.

La sub-escala SE5 registró en el Pre-Test un porcentaje de 27 % en lo más alto de la escala. Las respuestas por encima del valor intermedio de la escala contabilizaron un 88 %. En la revisión del Post-test, el valor más alto de la escala disminuye a 11 % y las respuestas agrupadas en los colores verde por encima del valor neutro alcanzan un 72 %. Este último dato también disminuyó en comparación con el Pre-Test. La diferencia del porcentaje de respuestas en escalas inferiores se debió al incremento del 2 % al 13 %.

A diferencia de las dos sub-escalas previas, la sub-escala SE6 mostró un ligero incremento en sus valores. Pasó de un 38 % en el Pre-Test a un 41 % en Post-Test, para el valor más alto de la escala. En general, las respuestas en la escala de verdes subieron de un 83 % al 91 % comparando Pre-Test y Post-Test. La mayor contribución a este incremento se debe al penúltimo valor de la alta escala (*Me describe*) que aumentó desde un 25 % a un 46 %.

En las sub-escalas restantes, los cambios observados no son significativos. La variación en los datos probablemente se dió producto del azar de la muestra o causas complejas de establecer. Todos los promedios de las sub-escalas se encuentran por encima de 4, que equivale al valor neutro o intermedio

de la escala Likert.

5.2.2. Grupo Experimental (GE) - Electrónica Digital 1

En la Figura 5-7 se observan los porcentajes de datos del Pre-Test del grupo experimental (GE). El eje vertical refleja las mismas sub-escalas de motivación mostradas en el apartado anterior para el grupo Control (GC). Así mismo, el eje horizontal muestra los porcentajes de respuestas en relación con cada una de las sub-escalas.

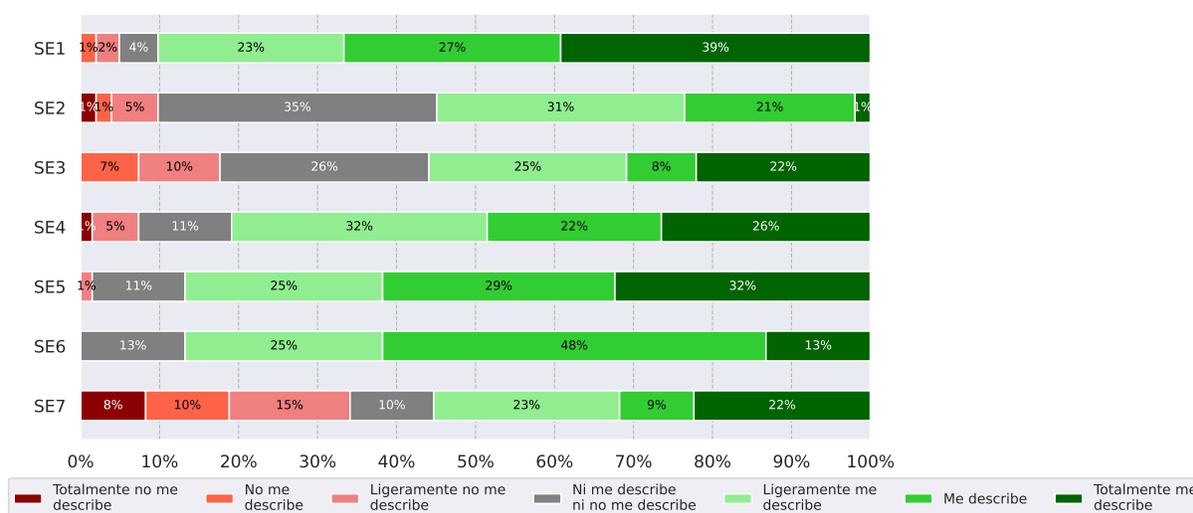


Figura 5-7.: Porcentaje de respuestas obtenidas para cada sub-escala del Pre-Test MSLQ-Colombia, en el grupo Experimental (GE)

La SE2 muestra porcentajes bajos de respuestas en los valores extremos de la escala likert: *Totalmente me describe* y *Totalmente no me describe*. La mayoría de las respuestas se ubicó en valores intermedios, con tendencia hacia la parte alta de la escala. Las sub-escalas con mayores valores de la opción superior en la escala son SE1 (39 %) y SE5 (32 %). También concentran la mayoría de respuestas en valores superiores de la escala, por encima del valor neutro. En la SE7 muestra que las respuestas de los estudiantes se encuentran distribuidas a lo largo de la escala Likert, de una manera uniforme. Tanto la SE1, SE4, SE5 y SE6 muestran que la mayoría de sus valoraciones se encuentran en valores superiores al valor intermedio.

Por su parte, en la Figura 5-8 se observa la gráfica con los resultados del Post-Test del grupo experimental (GE). Asimismo, se observan los porcentajes de las respuestas recolectadas agrupadas por cada sub-escala SE.

De acuerdo con la gráfica, la SE1 muestra la mayor concentración de respuestas por encima del valor neutro o intermedio (escala de verdes). Le siguen las sub-escalas SE5 y SE6. Por otro lado, la SE7

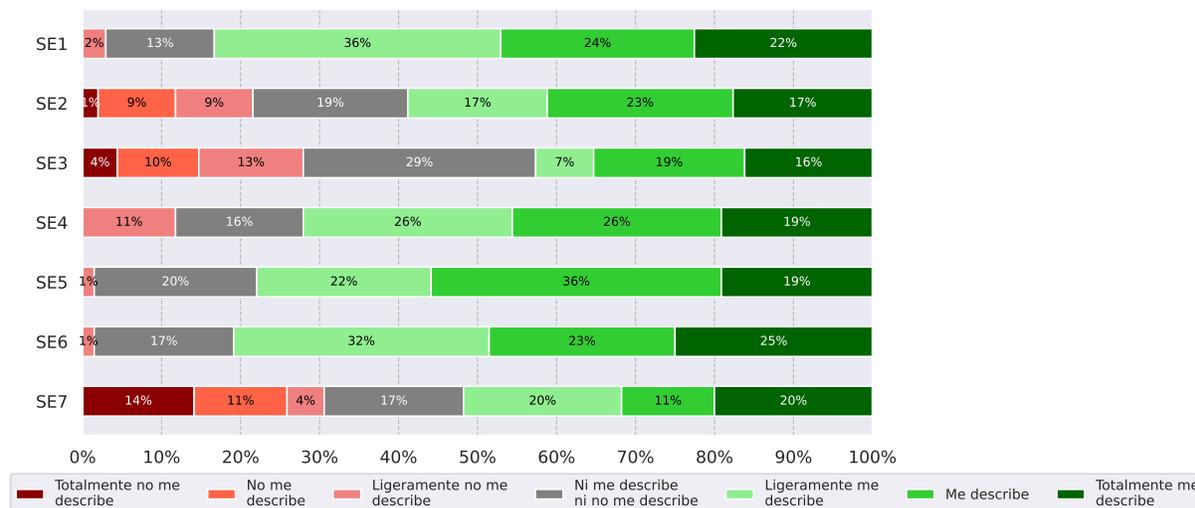


Figura 5-8.: Porcentaje de respuestas obtenidas para cada sub-escala del Post-Test MSLQ-Colombia, en el grupo Experimental (GE)

presenta una distribución de las respuestas a lo largo de toda la escala. En comparación con la gráfica del Pre-Test, se observa una disminución de sus valores en la escala verde. Esto se explica al revisar la menor de las opciones *Totalmente no me describe*, que registra un aumento del 8 % al 14 %. Este es un hecho positivo, pues implica una disminución de Ansiedad durante la experiencia. La SE3 también presenta cierta uniformidad de respuestas a lo largo de la escala, con una importante porción de respuestas ubicada en el valor neutro, con un 29 %.

En el valor superior de la escala, el mayor número de respuestas se registra en las sub-escalas SE6, SE1 y SE7, en ese orden. No obstante, la gráfica muestra cierta cercanía/uniformidad de estos valores en la alta escala Likert para todas las sub-escalas. Es decir, si se revisan los valores en la escala alta para todas las sub-escalas, estos se encuentran entre el 16 % (SE3) y el 25 % (SE6). Por lo tanto, ninguna sub-escala destaca de manera importante por encima de las otras en el máximo valor de la escala. Así, si se compara con la gráfica Pre-Test, la gráfica Post-Test muestra valores más uniformes en ese sentido.

En cuanto a la SE2, el nivel superior de la escala Likert se incrementó desde un 1 % en Pre-Test a un 17 % en la medición Post-Test. También aumentó la agrupación de los niveles superiores por encima del valor neutro, desde un 53 % a un 57 %. Los niveles inferiores también presentaron aumentos, desde 1 % a 9 % (nivel *No me describe*) y desde 5 % a 9 % (nivel *Ligeramente No me describe*).

Para el caso de la SE7, el valor más alto de la escala disminuyó levemente, de 22 % a 20 % al comparar entre mediciones Pre y Post. Los valores registrados en las escalas altas sumadas, por encima del valor neutro, registraron un 54 % en Pre-Test, mientras que en el Post-Test este valor de escalas agregadas disminuyó levemente a 51 %. Así mismo, las respuestas se mostraron más dispersas a lo largo de la

escala, como lo muestra el valor de desviación estándar del Post-Test.

Una vez revisadas las gráficas anteriores, los resultados pueden mostrarse ahora usando algunos valores estadísticos. Para este fin, en la Tabla 5-2 se encuentran valores de promedio, diferencia entre promedios Pre y Post, desviación estándar y p-valores (prueba de Wilcoxon), tal como se realizó en la sección previa con el grupo control.

Tabla 5-2.: Variables estadísticas obtenidas a partir de datos Pre-test y Post-test del grupo Experimental (GE)

Sub-escala de motivación (SE)	Test	Promedio	Diferencia	Desviación Estándar	Wilcoxon p-valor
SE1 Valoración de la tarea	Pre-Test	5.89	-0.39	1.18	0.0222*
	Post-Test	5.50		1.08	
SE2 Orientación hacia metas intrínsecas	Pre-Test	4.65	0.18	1.13	0.6085
	Post-Test	4.82		1.66	
SE3 Orientación hacia metas extrínsecas	Pre-Test	4.84	-0.37	1.52	0.2770
	Post-Test	4.47		1.75	
SE4 Expectativas de auto-eficacia en el aprendizaje	Pre-Test	5.46	-0.21	1.30	0.2966
	Post-Test	5.25		1.27	
SE5 Expectativas de auto-eficacia en el rendimiento	Pre-Test	5.79	-0.28	1.07	0.1418
	Post-Test	5.51		1.07	
SE6 Creencias sobre control del aprendizaje	Pre-Test	5.62	-0.09	0.88	0.6773
	Post-Test	5.53		1.10	
SE7 Ansiedad en los procesos de evaluación	Pre-Test	4.48	-0.15	1.94	0.5902
	Post-Test	4.33		2.05	

* p-valor < 0.05: Resultado estadísticamente significativo.

A partir de los resultados de la Tabla 5-2, se observa que los promedios de las sub-escalas se encuentran por encima de 4, correspondiente al valor neutro o intermedio de la escala Likert. Por otro lado, solamente se encontró significancia estadística en la sub-escala SE1, debido al p-valor de la prueba de Wilcoxon. El efecto relacionado fue negativo, por cuanto se observa una diferencia negativa entre el promedio Post-Test y Pre-Test.

En el caso particular de la SE1, se presenta una disminución en las valoraciones por encima del valor neutro al contrastar Pre-Test y Post-Test. Inicialmente se registró un valor de 89 %, para luego terminar en un 82 %. La valoración más alta (*Totalmente me describe*) disminuyó desde un valor registrado de 39 % a un 22 % en el Post-Test. Esto sería una indicación, desde el punto de vista cuantitativo, de una disminución en la valoración de las tareas y las actividades en el laboratorio. Esto está relacionado con la importancia, utilidad o gusto que el estudiante asigne a la temática y la actividad académica en este componente de la asignatura.

En las demás subescalas no se encontraron efectos significativamente estadísticos. A modo descriptivo, la diferencia de promedios en SE2 y SE7 resultó como un valor numérico positivo, aunque sin efecto alguno que pueda ser atribuible a la intervención. Así, todas las diferencias de promedios de la tabla no pueden ser atribuidas más que a efectos o causas debidas al azar de la muestra u otros fenómenos complejos, a excepción de la SE1 previamente mencionada. Queda por delante la revisión de los datos cualitativos para una mejor y más completa comprensión del panorama planteado en este trabajo.

5.3. Rendimiento académico

En el transcurso de la intervención educativa, se realizaron valoraciones utilizando evaluación sumativa para las actividades del laboratorio, como componente práctico de la asignatura. En este sentido, se realizará la presentación de las notas obtenidas por los estudiantes para cada uno de los informes de laboratorio. También se incluyen valoraciones sobre los scripts de Verilog presentados por los estudiantes.

La calificación de informes se enfocó esencialmente en el flujo de trabajo aplicado en la práctica. Este es un criterio importante en la asignatura Electrónica Digital 1, tal como se describió en la Sección 4.1 del Capítulo 4. Se trae de nuevo, a modo de resumen, el flujo de trabajo como se muestra a continuación:

- Diseño de entrada
- Simulación
- Síntesis
- Implementación
- Pruebas funcionales

Adicionalmente, la calificación de los informes involucró otros aspectos. Se tuvieron en cuenta algunas cuestiones de forma respecto a la presentación y estructura de cada informe. No obstante, tuvo un peso menor en la calificación si se compara con los pasos de diseño y flujo de trabajo. Además, es relevante mencionar que los informes fueron calificados por equipo de trabajo. Esto es, los estudiantes que integran un mismo equipo de trabajo comparten una misma nota numérica para cada uno de los informes calificados.

5.3.1. Notas de informes

En la calificación de informes realizada durante la intervención educativa se tuvo en cuenta el flujo de trabajo con las herramientas de diseño y pasos previamente fijados. Este es el enfoque a partir del cual se puede realizar una interpretación de las notas generadas. El rango de valores de una nota puede ir desde cero (0.0) hasta cinco (5.0). En la Figura 5-9 se observa el diagrama de cajas con la distribución de notas de los informes de todos los estudiantes. Se han dispuesto diagramas de cajas como evidencia de la dispersión de las notas de ambos grupos, control (GC) y experimental (GE).

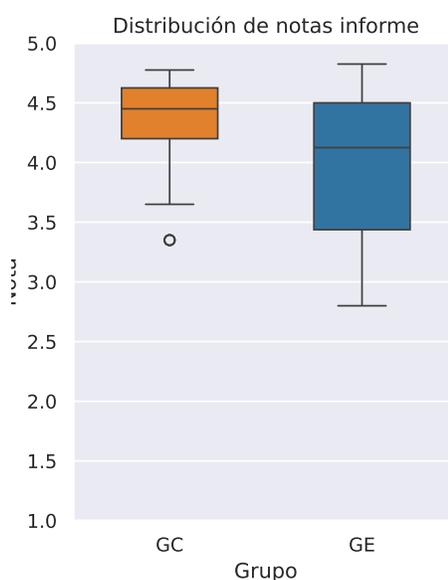


Figura 5-9.: Distribución de las notas de todos los informes, de los grupos control (GC) y experimental (GE)

Como resultado, se aprecia una dispersión de valores mayor en el GE. Hay pocos valores atípicos en ambos grupos. La mediana del GC es de 4.45, mientras que la del GE es 4.13. La máxima nota registrada se encuentra en el GE con 4.78, mientras que en el GC este valor es 4.82. No obstante, la nota más baja se registró en el GE con un valor de 2.80.

También es posible revisar algunos datos generados a partir de cada una de las entregas de informes. Fueron 6 en total. En la Tabla 5-3 se encuentran los valores promedio por cada una de estas entregas. Se encuentran agrupadas por grupo control y experimental.

Los promedios del informe 1 son superiores a los promedios de los últimos informes, especialmente el número 5 y 6. Este hecho se observa en ambos grupos. No obstante, en el grupo control (GC) no se vuelve a observar una nota tan alta como al principio. En cambio, en el grupo experimental (GE), se observa un repunte en el informe 2 e informe 5. A pesar de esto, la nota de entrega promedio más baja se encuentra en el informe 6, en el grupo experimental. La Figura 5-10 permite observar estos

Tabla 5-3.: Valores promedio para cada revisión de los informes, tanto para el grupo control (GC) como para grupo experimental (GE)

Grupo	Informe 1	Informe 2	Informe 3	Informe 4	Informe 5	Informe 6	Promedio
GC	4.53	4.39	4.34	4.40	4.41	4.00	4.35
GE	4.12	4.24	4.00	3.89	4.02	3.60	3.98

cambios entre los grupos. Inicialmente, es posible inferir que la disminución progresiva de las notas se puede deber al aumento progresivo de la dificultad de los informes, conforme avanzó la experiencia. Por otra parte, este comportamiento fue observado en ambos grupos, así que es posible que se trate de una dinámica más allá del uso e intervención con el LH.

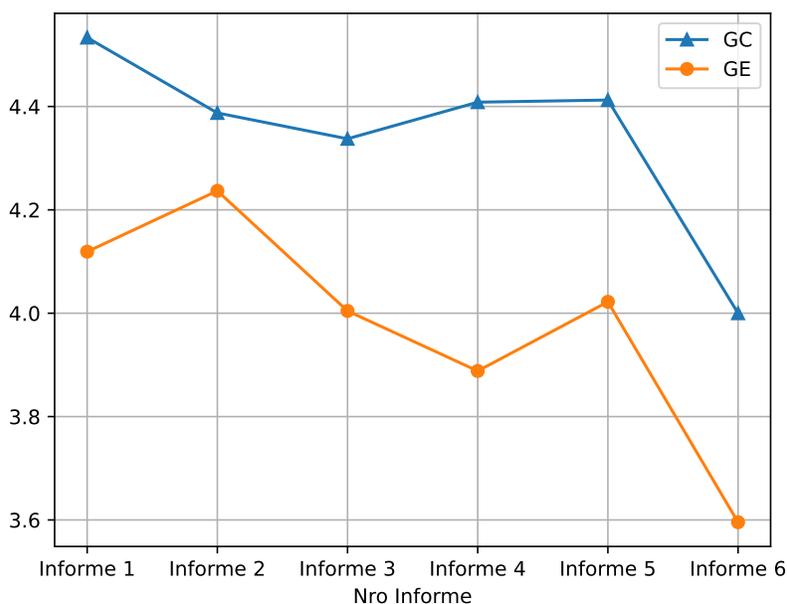


Figura 5-10.: Gráfica de comportamiento de los promedios por informe de laboratorio, para los grupos control (GC) y experimental (GE).

5.3.2. Scripts de Verilog

Una parte importante en el aprendizaje de un HDL como Verilog es la codificación. Para cada entrega de informe, los estudiantes realizaron sus diseños y enviaron los scripts que desarrollaron como resultado. Estos fueron valorados con una nota numérica. Se mencionan como parte de los resultados cuantitativos para evidenciar el desempeño de los estudiantes en este aspecto puntual. En la Figura 5-11 se observa el diagrama con la distribución y dispersión de notas de scripts de todos los estudiantes. Los diagramas están dispuestos para la comparación entre los grupos GC y GE.

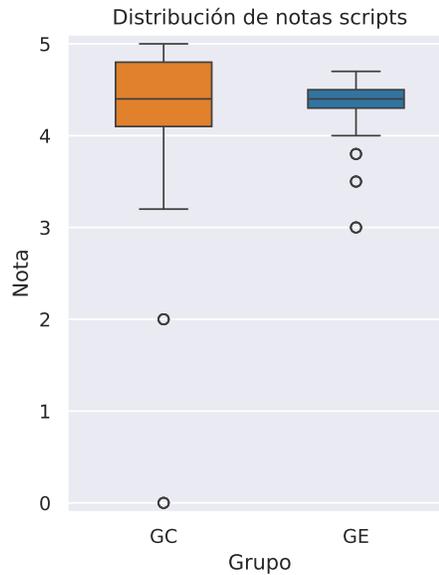


Figura 5-11.: Distribución de las notas de todos los scripts, de los grupos control (GC) y experimental (GE)

De la Figura 5-11 se observan algunos valores atípicos en ambos grupos. Las notas del GC se encuentran más dispersas que las del GE. A partir de la gráfica, se advierte que las notas del GE se encuentran más concentradas alrededor de la mediana (4.4). En comparación, las notas del GC (mediana = 4.4) se encuentran más dispersas. El promedio de las notas de scripts del GC es 4.23, mientras que el del GE es 4.34. Se advierten algunos datos atípicos, en especial en el GC debido a la falta de entrega de scripts en determinadas ocasiones.

Otra muestra de resultados se puede observar en la Tabla 5-4. Allí se señalan los promedios de 6 entregas de scripts. Cada una de estas entregas se realizó en conjunto con los informes presentados por los estudiantes. Se encuentran clasificados por grupo control (GC) y grupo experimental (GE).

Tabla 5-4.: Valores promedio para cada revisión de los scripts de Verilog, para el grupo control (GC) y grupo experimental (GE)

Grupo	Script 1	Script 2	Script 3	Script 4	Script 5	Script 6	Promedio
GC	3.68	4.07	4.45	4.32	4.48	4.35	4.23
GE	4.49	4.45	4.22	4.25	4.46	4.16	4.34

En el GC, la nota de primera entrega es la más baja en el registro de todos los promedios de entregas de scripts. A medida que avanzan las entregas, se observa un aumento en las notas promedio. El promedio más alto se alcanza en la quinta entrega de scripts. Por el contrario, en el GE se mues-

tra una tendencia de disminución progresiva de notas de scripts. A pesar de este hecho, las notas se mantuvieron por encima del valor 4.0. Además, se observa un repunte en la quinta entrega con un valor cercano a 4.5. La Figura 5-12 muestra el comportamiento de estos cambios a lo largo de las seis entregas.

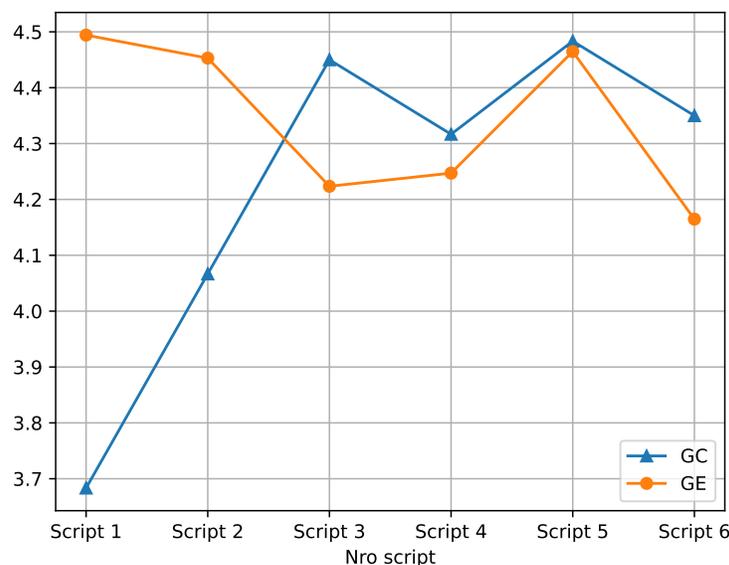


Figura 5-12.: Gráfica de comportamiento de los promedios por cada entrega de scripts, para los grupos control (GC) y experimental (GE).

5.4. Percepciones de los estudiantes

La encuesta de percepción se constituye en el instrumento a partir del cual se realizará la presentación de resultados en esta sección. Gracias a su aplicación, los estudiantes participantes tuvieron la oportunidad de escribir respuestas abiertas expresando sus opiniones de forma amplia, si así lo querían. Sólo fue aplicada en el grupo experimental (GE). Se contó con la participación de 17 estudiantes. Fue aplicada una vez la intervención educativa había finalizado. Se pidió a los participantes que manifestaran sus respuestas de forma clara y honesta, pero sin presiones y en libertad de expresión.

Los resultados de la encuesta requerían de un procesamiento previo. Las respuestas entregadas por los participantes debían ser ordenadas, analizadas y reconfiguradas para extraer información esencial. Así se constituye todo un proceso de codificación abierta. Este fue descrito en la Sección 4.3.5.

Inicialmente, se realizó una revisión general de los datos. En esta etapa no se busca extraer información detallada, sino realizar una exploración de las respuestas de los estudiantes. Se observa el estilo,

longitud de respuestas y posibles inconvenientes o palabras que aparecen sin sentido, al menos en esta etapa inicial. En el siguiente paso del proceso, se encuentra la fase de codificación. Se ordenan las respuestas de acuerdo a *indicadores*, los cuales permiten agruparlas si comparten una misma esencia o se refieren a lo mismo. De allí se pueden realizar agrupaciones de mayor jerarquía conocidas como *Categorías*. En un nivel superior pueden encontrarse súper-categorías como grandes agrupaciones con sentido propio y definido.

Vale mencionar que las respuestas de los estudiantes en general son complejas. Al analizar cada una de ellas, pueden contener información que aplica a uno o más indicadores. De ahí la necesidad de analizarlas y extraer convenientemente las relaciones con los aspectos de interés en este trabajo (motivación y rendimiento académico). Aun así, es posible que los resultados rebasen el ámbito y alcance más allá de los aspectos de interés.

Adicionalmente, el proceso estuvo acompañado por los profesores Director de Tesis y Co-Director de Tesis. Sus aportes y orientaciones fueron provechosas en el proceso de clarificar y ordenar adecuadamente la información y hallazgos progresivos.

Se recolectaron en total 153 percepciones. A continuación se muestran los resultados de cada sección por orden de relevancia.

5.4.1. Tema: Motivación por aprender

Las respuestas de la encuesta de percepción fueron analizadas y clasificadas acorde a su significado. En ese proceso, varias de las respuestas fueron vinculadas al tema de **Motivación por aprender**. Se tuvo en consideración las siete sub-escalas asociadas a este constructo, acorde a la teoría de la autorregulación del aprendizaje y el instrumento MSLQ-Colombia. Como resultado, en la Figura 5-13 se presentan los resultados del análisis de las percepciones en relación con el tema Motivación. Allí se relaciona la jerarquía resultante y el número de menciones enmarcadas en cada indicador o categoría, según el caso. A partir de las percepciones, se contabilizaron 89 menciones relacionadas con algún aspecto de la motivación por aprender.

A continuación se explicará en detalle la aportación de las percepciones a cada categoría en el tema Motivación por aprender.

Expectativas de autoeficacia en el rendimiento (SE5)

El análisis para esta categoría trajo como resultado un total de 19 percepciones involucradas (21.3 % del total en el tema Motivación). Se enfoca en aspectos relacionados con el juicio que el estudiante tiene sobre su capacidad para obtener una buena nota. A partir de este constructo, se realizó una primera agrupación de percepciones o indicador al que se llamó *Obtener buenas notas*. Algunos estu-

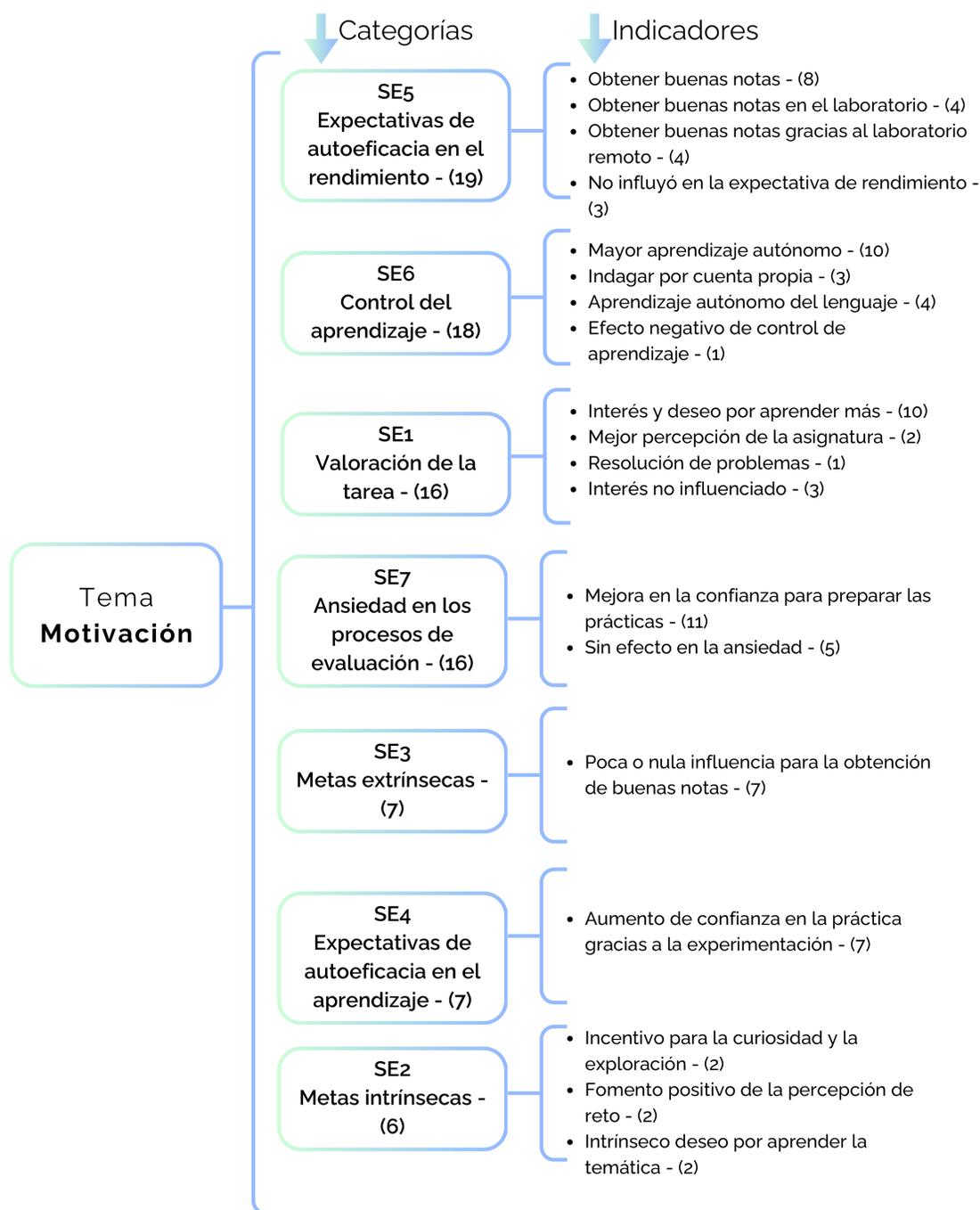


Figura 5-13.: Resultado del análisis cualitativo basado en la encuesta de percepción. Tema: Motivación por aprender

diantes expresaron que la experiencia incrementó su expectativa por obtener buenas notas en forma general. De este modo, se presentan algunas percepciones ejemplo: “Saque buenas notas so (sic) por lo menos mejores a las que esperaba gracias al trabajo en labsland”, “La facilidad de acceso a las herramientas me hicieron sentir que era más cómodo y más sencillo dedicar más tiempo a la materia, lo que me motivo (sic) a pensar que posiblemente mi nota sería buena”.

Otra agrupación fue más al detalle. Se trata del indicador *Obtener buenas notas en el laboratorio*, por el cual los estudiantes hicieron hincapié en el rendimiento para las prácticas y los informes de laboratorio. Por ejemplo, mencionan que “para ciertas prácticas el ambiente de quartus o labsland eran más amigables para el desarrollo e implementación, lo cual hacia (sic) más fácil obtener una nota alta” o “Fue una herramienta que ayuda a (sic) mucho y hacia (sic) más fáciles las cosas por lo que permitía sacar mejor nota en los informes”.

Adicionalmente, las percepciones destacaron la importancia de la modalidad remota en la expectativa por obtener buenas notas. La agrupación resultante fue *Obtener buenas notas gracias al laboratorio remoto*. La flexibilidad que brinda la opción remota fue bien recibida, así lo expresa un estudiante: “Si, se puede tener un mejor desempeño. Con la posibilidad de experimentar de forma remota, se aumenta el tiempo disponible para dedicarle a la materia.”. Otra expresión que va en la misma vía: “De cierto modo era más fácil obtener una buena calificación con Labsland debido a la facilidad del acceso y pruebas.”.

Finalmente, hay percepciones que por el contrario, no manifiestan un beneficio en las expectativas por obtener un buen rendimiento, agrupándose en *No influyó en la expectativa de rendimiento*. Se contaron 3 de estas percepciones. A modo de ejemplo, la percepción: “A pesar de ser algo interesante, también tiene su nivel de complejidad por lo que mis expectativas continuaron de la misma manera.”.

Control del aprendizaje (SE6)

Se registraron 18 percepciones relacionadas con la categoría SE6 - Control del aprendizaje, puntuando un 20.2 % del total de menciones en el tema de Motivación. La primera agrupación o indicador *Mayor aprendizaje autónomo* fue resultado de lo que expresaron los estudiantes como uno de los resultados de la intervención educativa. Así, se tiene por ejemplo: “Insisto en que al poder implementar los códigos en prácticamente cualquier momento impulsa a dedicar más tiempo al desarrollo y para poder tener el código adecuado hay que trabajar mucho y de manera autónoma”. De manera similar: “El laboratorio en general, más allá de la tarjeta virtual, requiere un alto grado de estudio autónomo y de esfuerzo propio.”. También hubo percepciones que hablaron sobre la necesidad de dedicar tiempo y esfuerzos a esta tarea. En total se agruparon 10 percepciones.

Un hecho particular se refiere a la búsqueda de información e indagación necesarias para un mejor desarrollo de las actividades. Algunas percepciones expresan este hecho y fueron agrupadas en In-

dagar por cuenta propia. Se registraron 3 de ellas. Una expresión en este sentido consistió en que “... es necesaria más información que se encuentra por cuenta propia y soy consciente de que eso pudo haberme hecho más fácil las cosas”.

Por otra parte, el dominio del lenguaje fue entendido como parte de un proceso de aprendizaje autónomo. Los estudiantes destacaron que el diseño y la práctica presuponen un nivel de comprensión del lenguaje. Para alcanzar este nivel, fue necesario dedicar algunos esfuerzos de forma autónoma para mejorar el desempeño en el laboratorio, en relación con verilog. Por lo tanto, se organizó el indicador *Aprendizaje autónomo del lenguaje*, con 4 percepciones. Una percepción relacionada, “Como en un lenguaje de programación, uno de descripción de hardware se aprende con práctica, y eso depende de cada uno”. Se observa la diferencia realizada entre lenguajes de programación y de descripción de hardware.

Por último, una percepción dio cuenta del *efecto negativo en el control del aprendizaje*. El estudiante indica que no fue suficiente el esfuerzo realizado: “A pesar de los esfuerzos el código no funcionó :(”. Esta fue la única percepción registrada en este indicador.

Valoración de la tarea (SE1)

En esta categoría se agruparon las percepciones cuya información señalaba alguna afinidad o cercanía al significado de esta sub-escala correspondiente al MSLQ-Colombia. Se contabilizaron 16 menciones que corresponden al 18 % del total en este Tema.

Se encontraron 3 indicadores dentro de esta categoría. El primero es el *Interés y deseo por aprender más*, donde los estudiantes manifestaron que la experiencia del laboratorio les ayudó a incrementar su deseo por aprender más. Una percepción de ejemplo: “Si, en gran medida las diferentes herramientas despiertan una mayor motivación e interés.”. Otra agrupación o indicador que surgió es *Mejor percepción de la asignatura*. Allí se observa una influencia en el estudiante en relación la asignatura. Como percepción en el contexto: “El laboratorio híbrido permitió que viera mejor la practicidad de la materia y me incentive (sic) las ganas de aprender esto.”. Una última agrupación, *Resolución de problemas*, involucró sólo una percepción. El estudiante indicó que “... viendo problemas de la vida real incentivó mi curiosidad para resolver problemas.”. Tres percepciones adicionales se ubicaron aparte debido a que mostraron un *Interés no influenciado* por la experiencia. Los estudiantes manifestaron traer ese interés de manera previa o simplemente no sintieron que este hubiese cambiado en forma alguna a causa de la intervención.

Ansiedad en los procesos de evaluación (SE7)

En la categoría relacionada con la ansiedad en los procesos de evaluación, se registraron 16 menciones correspondientes al 18 %. Se originaron dos indicadores como producto de la revisión y el análisis. La primera agrupación o indicador abarca las percepciones que presentaron un efecto positivo para el estudiante. Se destacó la utilidad de las herramientas para la realización del preinforme y la práctica, que derivó en una *Mejora en la confianza para preparar las prácticas*. Un ejemplo de ello se muestra en la percepción: “En algunas preguntas el acercamiento a la tarjeta nos brindó confianza.”. Otras muestran que la flexibilidad en el tiempo de preparación de prácticas permitió aumentar su confianza: “Teniendo más tiempo para explorar el lenguaje y errores de codificación, al momento de llegar a la revisión de informe, hay más dominio en el tema.”. Adicionalmente, las preguntas de preparación de la práctica fueron respondidas con mayor seguridad, puesto que “... el laboratorio remoto se podía tener una idea de la practica (sic) y con bocetos, permitía contestar preguntas y hacer un trabajo previo más eficaz”. En total se registraron 11 percepciones en esta agrupación.

Por otra parte, algunos estudiantes expresaron la poca o nula influencia de la intervención y sus herramientas en la mejora de esta categoría. Cinco percepciones apuntaron a ello. Uno de ellos menciona: “Siento que las preguntas del pre informe solo servían de contexto para las prácticas por lo que no creo que de no tenerlo hubierq (sic) sido muy diferente”. Otra percepción: “A mi parecer una cosa no tiene que ver con la otra.”. Estas percepciones se agruparon en el indicador *Sin efecto en la ansiedad*, debido a la falta de conexión entre la intervención y la disminución de la ansiedad como lo manifestaron algunos estudiantes.

Metas extrínsecas (SE3)

En esta categoría se abordaron las percepciones relacionadas con elementos de gratificación que difieren del aprendizaje en sí mismo. Las notas, reconocimiento social, obtención de beneficios académicos suelen apuntarse como razones o metas extrínsecas que pueden impulsar el aprendizaje. No obstante, no se registraron percepciones por las cuales los estudiantes hayan presentado algún incremento en la consecución de este tipo de metas. Aun así, algunas percepciones hablan de un efecto nulo: el laboratorio híbrido propuesto no influyó en la motivación por obtener buenas notas o demás beneficios adyacentes. La única agrupación resultante fue *Poca o nula influencia para la obtención de buenas notas*. Un ejemplo de percepción es “Realmente no siento que me haya motivado a querer más nota”. Esto no quiere decir que los estudiantes no tuvieran intenciones de mejorar sus números. Algunos de ellos ya presentan un interés en este aspecto, como se observa en una de las percepciones: “Siento que no influyo (sic) tanto, siempre he querido sacar buenas calificaciones”. En total, 7 percepciones se refirieron a este aspecto (7.9 % del total del Tema).

Expectativas de autoeficacia en el aprendizaje (SE4)

Las percepciones que se agruparon alrededor de la categoría SE4 fueron 7 (7.9 % del total del Tema). Se refieren a aspectos por los cuales el estudiante pudo aumentar su confianza para comprender y abordar las temáticas gracias a sus capacidades. En estas percepciones, los estudiantes indicaron que se presentó un *Aumento de confianza en la práctica gracias a la experimentación*. A medida que la experiencia de laboratorio les fue resultando más amena y satisfactoria, comprendieron que podían hacer más experimentación con buen resultado. Esto se dio debido a "... a la cantidad de pruebas y experimentos que podría realizar hasta estar seguro de la adquisición de resultados óptimos.". Adicionalmente, el entorno de trabajo remoto Labsland permitió la experimentación con un grado de seguridad importante, aumentando su confianza a pesar de los errores en el proceso: "Al poder experimentar más, se adquiere más seguridad, pues ya se han cometido errores.". Con ello, estas percepciones son muestra de que algunos estudiantes pudieron aumentar su confianza en que podrían comprender mejor la temática y avanzar en la práctica. Para este fin, se apoyaron en las herramientas de laboratorio provistas en la intervención educativa.

Metas intrínsecas (SE2)

En esta categoría se acogió un número total de 6 percepciones con menciones relacionadas (6.7 % del total del Tema). Estas se analizaron y escogieron debido a la cercanía con el significado de esta categoría. La curiosidad, el deseo por aprender la temática y el hecho de hacerlo solo por el gusto y por el reto que podría involucrar, son algunas características a tener en cuenta en este punto. La primera agrupación o indicador de percepciones se denominó *Incentivo para la curiosidad y la exploración*. Dos percepciones permitieron inferir que la experiencia tuvo un efecto positivo en este sentido. Una de ellas menciona que "... el laboratorio híbrido me dió más facilidad para utilizar el software, lo que me motivo a probar nuevas y diversas cosas respecto a los laboratorios" (sic). El segundo indicador, *Fomento positivo de la percepción de reto*, agrupó otras dos percepciones. Una de las percepciones dice: "Cómo era tanto una facilidad como a la vez una nueva cosa que aprender fomentó el reto de lograr implementar en él los problemas propuestos en el laboratorio" (sic). La última agrupación abordó el aprender como un fin importante para los estudiantes. Se denominó *Intrínseco deseo por aprender la temática* y agrupó dos percepciones. Un ejemplo de ellas es: "...fomentó el reto de lograr implementar en él los problemas propuestos en el laboratorio".

5.4.2. Tema: Beneficios emergentes del laboratorio híbrido (HO y LR)

En el ejercicio de revisión y análisis de los datos cualitativos, surgió un tema emergente llamado **Beneficios emergentes del laboratorio híbrido (HO y LR)**. Fue el resultado de examinar las percepciones para encontrar información valiosa adicional para establecer y complementar los hallazgos en este trabajo. Las categorías e indicadores desarrollados se refieren a la percepción de los estudiantes acerca de los elementos, beneficios o efectos alrededor de las modalidades remota y hands-on, como

integración del laboratorio híbrido desplegado en la asignatura de electrónica digital 1. También dentro de este tema emergente se ubicaron varias categorías e indicadores que abordan aspectos de la intervención tales como los beneficios percibidos para el aprendizaje, el desarrollo personal y el desempeño en el laboratorio en general. La Figura 5-14 muestra el resumen de las categorías en primer lugar con sus respectivos indicadores, todos ellos enmarcados dentro del tema emergente. A partir de las percepciones, se contabilizaron 164 menciones relacionadas con algún aspecto de los beneficios emergentes del laboratorio híbrido.

Categoría - Gestión personal del aprendizaje

En esta categoría se encuentran agrupadas las percepciones relacionadas con la posibilidad de ordenar los tiempos y esfuerzos para el propio proceso de aprendizaje. Con ello, los estudiantes pueden flexibilizar sus esfuerzos acorde a la situación particular de cada uno. Esto es posible debido a la sensación de mayor disponibilidad y posibilidad de práctica sin restricción. Se contabilizaron 45 menciones relacionadas con esta categoría (27.4 % del total de este tema emergente).

- **Indicador - Administración del tiempo:** las percepciones recogidas en este indicador muestran que el estudiante percibió que tenía mayor tiempo disponible para ejecutar la práctica. No se sintieron tan restringidos a razón de un horario o tiempo de práctica. Además, pudieron dedicar mayor cantidad de tiempo al laboratorio. Por esta razón, las actividades podrían ser preparadas, ejecutadas y aprendidas en mejor manera. Incluso, se generó la posibilidad de distribuir los tiempos acorde a las circunstancias particulares de cada uno. Este indicador agrupó gran cantidad de percepciones, 29 en total. Algunas percepciones asociadas: “Con el laboratorio híbrido, se puede dedicar más tiempo a las prácticas y por ende se espera conseguir mejores resultados.”, “Porque el laboratorio es más llevadero, además de que es más fácil distribuir el tiempo dedicado a la materia”, “No tener acceso a una tarjeta FPGA ya no es una excusa para no obtener buenas calificaciones. Motiva a dedicarle más tiempo a la asignatura”, “La posibilidad de estudiar cuando me conviniera me aseguraba que iba a tener tiempo suficiente para aprender verilog”.
- **Indicador - Realizar mayor experimentación:** este indicador hace referencia a la percepción de poder realizar mayor cantidad de pruebas y experimentación. Los resultados podrían ser optimizados gracias a esta característica. En algunos casos les llevó incluso a explorar más allá de la práctica establecida. Se recogieron 9 percepciones para este indicador. Algunos ejemplos: “Porque el laboratorio híbrido me dió más facilidad para utilizar el software, lo que me motivo a probar nuevas y diversas cosas respecto a los laboratorios”, “En general la temática de la asignatura despierta un gran interés en mí, tener herramientas físicas como la tarjeta en casa y virtuales como la tarjeta en línea permitió un poco más de exploración por mi parte.”, “Si porque al poder hacer más prueba se puede aprender más”
- **Indicador - Esfuerzo adicional o trabajo incrementado percibido:** algunos estudiantes mencionaron la necesidad de realizar un esfuerzo para comprender la dinámica que involucró al laboratorio remo-

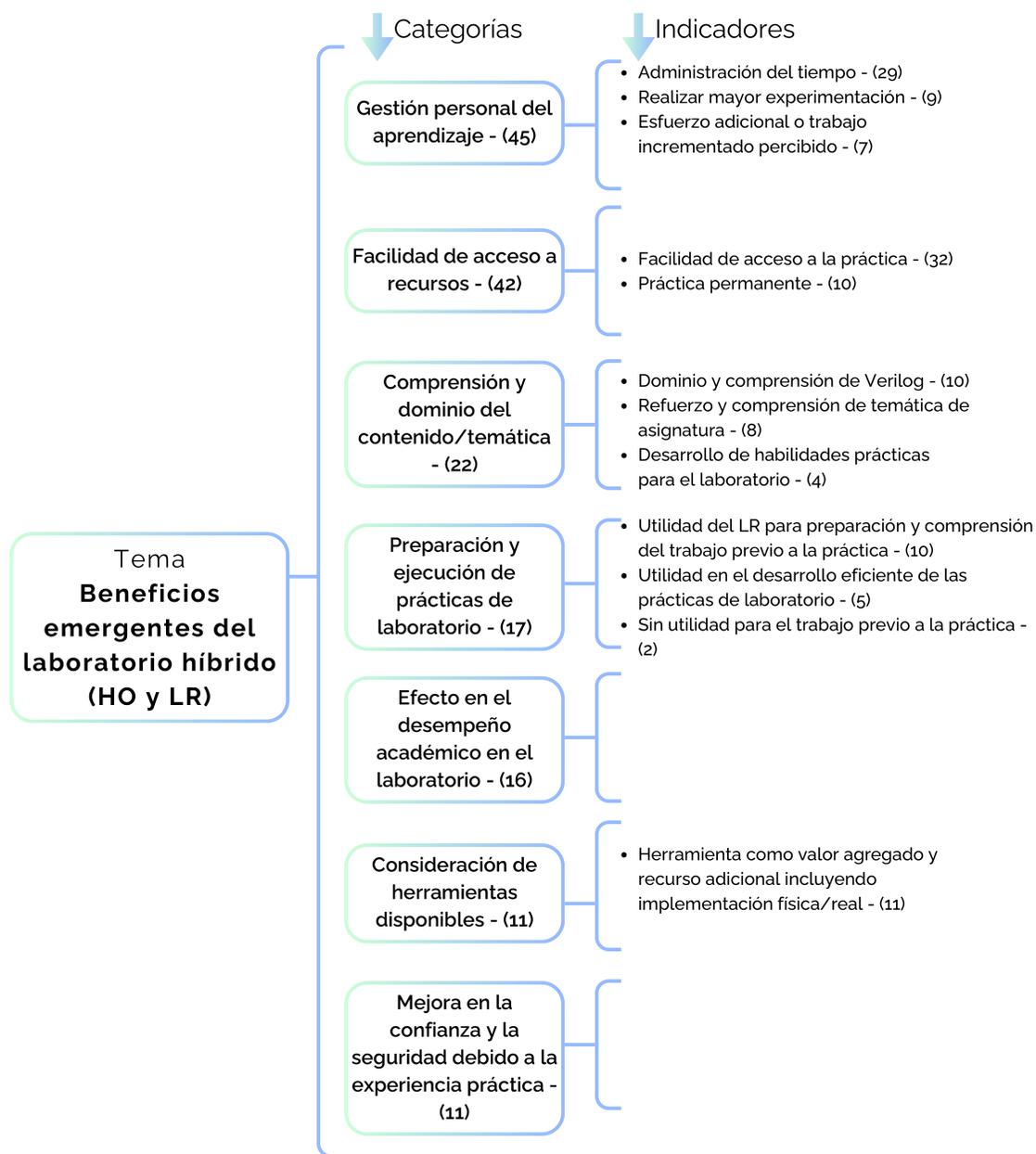


Figura 5-14.: Resultado del análisis cualitativo basado en la encuesta de percepción. Tema: Beneficios emergentes del laboratorio híbrido (HO y LR)

to (LR). Es decir, ellos percibieron que se realizó trabajo y esfuerzo adicional al que hubieran tenido que hacer si estuvieran en el laboratorio tradicional. No necesariamente se refiere a todo el proceso, puesto que pueden señalar aspectos o procesos puntuales que les significaron un esfuerzo adicional (asignación de pines p. ej.). 7 percepciones hablaron de este indicador. Una muestra de estas percepciones: “La exigencia que pedía la tarjeta virtual era un poco más estricta que la de las tarjetas físicas en cuanto a las variables, estructura, orden y sintaxis, esto conllevó a un mayor esfuerzo que a la larga esperaba se viera reflejado en la calificación.”, “Cómo dije anteriormente, fue una herramienta extra que ayudó a la par con el formato de tarjeta en físico, sin embargo su implementación al ser distinta hacia que tocaba reaprender un poco el código”.

Categoría - Facilidad de acceso a recursos

Esta categoría abarcó un número total de 38 percepciones (23.2 % de este Tema). Surgió a partir de las percepciones relativas a aspectos positivos basados en la flexibilidad y libertad de acción, en la práctica de laboratorio. Se generaron 2 indicadores.

- Indicador - Facilidad de acceso a la práctica: se refiere a las posibilidades de realizar la práctica gracias al laboratorio híbrido, en particular a la modalidad remota. Si el acceso se puede realizar desde cualquier plataforma (PC o celular) o desde cualquier lugar con conexión a internet, la práctica se facilita en gran medida. Los estudiantes mencionaron estas características en gran número de percepciones, 32 para este indicador. Algunas de estas fueron: “Es una herramienta de fácil acceso, se pueden probar programas de forma rápida”, “El poder aprender desde mi casa hace mucho más agradable aprender”, “Si, aumenta bastante la facilidad de trabajo, la comodidad y la capacidad de trabajar con distintos equipos como celulares”.
- Indicador - Práctica permanente: Está en línea con la percepción de poder practicar en cualquier momento, independientemente de los horarios y recursos dispuestos en una modalidad como la hands-on únicamente. Los estudiantes perciben la facilidad para acceder a la experimentación y la práctica libremente en el tiempo. Ejemplos de percepciones asociadas fueron: “Si, ya que permite al estudiante desarrollar las practicas en todo momento y no solo en los horarios convencionales”, “En parte era complicado por las limitaciones en cuanto al nombre de los pines que tocaba poner en el código, pero al final del día facilitaba la tarea de implementar el código en verilog ya que era como tener una FPGA siempre contigo”, “Tener la posibilidad de preparar en cualquier momento las prácticas y afianzar los temas”. Se contabilizaron 10 percepciones para este indicador.

Categoría - Comprensión y dominio del contenido/temática

Esta categoría asoció varias percepciones que mencionaron el beneficio para la comprensión y el aprendizaje en la asignatura. Los estudiantes señalaron distintos aspectos y temáticas en las cuales percibieron mejoras y logros positivos para su proceso de aprendizaje. Fueron 22 menciones agrupadas con un 13.1 % del total del tema.

- **Indicador - Dominio y comprensión de Verilog:** en algunas percepciones se mencionó de forma puntual el lenguaje Verilog. Los estudiantes indicaron que el trabajo en las modalidades y las herramientas dispuestas fue oportuno para el aprendizaje del lenguaje. Les permitió conocer su estructura y familiarizarse con la sintaxis y el paradigma del mismo. Se agruparon 10 percepciones en este indicador. Algunas de ellas se muestran a continuación: “No soy muy buena en esas cosas por lo que sigue siendo muy difícil para mi, aunque si me ayudo a familiarizarme con el lenguaje”, “Sí ya que el lenguaje Verilog se usó en casi todas las facetas de la asignatura tanto en laboratorio como en la magistral, y el formato híbrido ayudo a su comprensión”, “Al principio fue complicado su entendimiento e intimidada a un poco, pero para el final del curso con su entendimiento se hizo más llevadero y ayudo a entender más el lenguaje de Verilog”.
- **Indicador - Refuerzo y comprensión de temática de asignatura:** este indicador es un poco más general en comparación con el anterior. Se refiere al beneficio que representó a los estudiantes para la comprensión de temáticas trabajadas en la asignatura. La práctica permitió afianzar y entender mejor los temas de clase a partir del trabajo en el laboratorio híbrido. Se compilaron 8 percepciones. Así se habló de este indicador en algunas de ellas: “Ayuda a entender mejor los conceptos de la clase”, “En general las prácticas son las que ayudan a afianzar conocimientos y entender mejorar el tema creo que esto se da con cualquier tipo de practicasin(sic) la necesidad de ser remoto.”, “Los detalles que quedaban sin responder en clase podían ser aprendidos en el laboratorio virtual”.
- **Indicador - Desarrollo de habilidades prácticas para el laboratorio:** se destacan algunas percepciones que indicaron beneficios para la práctica de laboratorio en sí misma. Reconocieron las bondades de las herramientas para aplicar los conceptos de electrónica digital mediante el desarrollo de las prácticas de laboratorio, mejorando las habilidades en este espacio de trabajo. Se reunieron 4 percepciones relacionadas. Una muestra de ellas: “al manejar diversos ambientes como lo eran quartus y Labsland, me permito mas alla (sic) de tener un conocimiento sistemático, me permitió tener conocimiento general de la forma de programar hardware”, “Algunas preguntas, como códigos ejemplo de podían colocar en lanbsland (sic) y ver la implementación en la tarjeta remota, y así entender un poco más para clase del laboratorio”.

Categoría - Preparación y ejecución de prácticas de laboratorio

Se trata de una categoría que involucró percepciones de los estudiantes acerca de la utilidad y beneficio para realizar sus prácticas de laboratorio de forma satisfactoria. Se generaron dos indicadores relacionados. 17 menciones fueron relacionadas con un 10.4 % del total para el tema.

- **Indicador - Utilidad del LR para preparación y comprensión del trabajo previo a la práctica:** para este indicador, se agruparon las percepciones en donde se mencionó un beneficio para realizar el preinforme. Este elemento, como preparación para el desarrollo de la práctica, resultó beneficiado acorde a las opiniones de algunos estudiantes. A algunos les ayudó a explorar con anterioridad ciertos aspectos de la práctica. En otros casos, pudieron corroborar por sí mismos el funcionamiento para contestar con mayor confianza las preguntas de preparación para la práctica. 10 percepciones

hablaron de este indicador. A modo de ejemplo: “ya que con el laboratorio remoto se podía tener una idea de la practica y con bocetos, permitía contestar preguntas y hacer un trabajo previo mas eficaz”, “Porque a final de cuentas el preinforme es previo al trabajo con verilog en algunos casos, pero sí me ayudó a lograr relacionar de manera más sencilla el tema tratado en el preinforme con el código a realizar.”, “Al ser una fuente de información y experimentación extra ayudo a la realización de los pre-informes”.

- Indicador - Utilidad en el desarrollo eficiente de las prácticas de laboratorio: A diferencia del anterior indicador, las percepciones aquí recogidas fueron dirigidas a la etapa de realización de la práctica principal. Los estudiantes indicaron que la modalidad remota fue útil para la entrega de laboratorios a tiempo y con un nivel de desarrollo adecuado. 5 percepciones fueron relacionadas a este indicador. Por ejemplo: “Pues ya que podía hacer pruebas sin pedir FPGA permitió entregar mejores laboratorios”, “Las prácticas remotas se completaban de manera general más rápido. Y a realizar las pruebas necesarias para corroborar el funcionamiento de las prácticas”.
- Indicador - Sin utilidad para el trabajo previo a la práctica: este indicador recoge las percepciones donde se expresa la falta de efectos positivos o nulo efecto en la realización del preinforme. Se recogieron 2 percepciones en este caso: “Nunca use el laboratorio híbrido para responder el preinforme”, “Siento que las preguntas del pre informe solo servían de contexto para las prácticas por lo que no creo que de no tenerlo hubiera sido muy diferente”.

Categoría - Efecto en el desempeño académico en el laboratorio

Las percepciones recogidas en este punto hacen referencia a los efectos, tanto positivos como negativos, en el rendimiento que presentaron los estudiantes en el componente de laboratorio. En general, las percepciones relacionadas muestran que el conjunto de herramientas y modalidades desplegadas en el laboratorio híbrido si presentan efectos positivos en el rendimiento. En las percepciones también se observaron algunas posibles causas. Entre ellas se encuentra el tiempo dedicado en mayor cantidad, las posibilidades que brindaron las herramientas y la flexibilidad en el acceso y la práctica, esta última referida a la modalidad remota. Las menciones alineadas con esta categoría sumaron 16 (9.8 % del total de este tema). A continuación se observan dos de ellas: “Saque buenas notas so por lo menos mejores a las que esperaba gracias al trabajo en labsland” (sic), “Fue una herramienta que ayudo a mucho y hacia más fáciles las cosas por lo que permitía sacar mejor nota en los informes” (sic). No se identificaron agrupaciones diferenciadas que pudieran ser organizadas en indicadores, por lo que el análisis en esta sección se limitó al nivel de categoría.

Categoría - Consideración de herramientas disponibles

Consistió en la agrupación de percepciones que apuntaron al reconocimiento de las herramientas disponibles por su utilidad y beneficio en el aprendizaje. Se generó un único indicador, agrupando 11 menciones (6.7 % del total del tema).

- **Indicador - Herramienta como valor agregado y recurso adicional incluyendo implementación física/real:** se refiere al reconocimiento de las herramientas disponibles para el desarrollo de la práctica y el aprendizaje en el laboratorio. También se reconocen las bondades de la herramienta tales como la disponibilidad, la capacidad de práctica e implementación en la FPGA. El tener estas herramientas a disposición para aprender es un hecho reconocido y apreciado por los estudiantes en las percepciones de este indicador. En algunos casos, los estudiantes hablaron solamente de la modalidad remota, la cual vieron como una herramienta extra a la modalidad hands-on. Se reunieron 11 percepciones. Ejemplo de percepciones fueron: “La verdad si ya que era una herramienta extra que ayudó un montón a la hora de facilitar los retos del curso”, “Sí ya que fue tanto un reto como una herramienta extra que complementó bien lo aprendido en el curso”, “Porque al tener disponibilidad todo el tiempo permitía dedicarse de mejor manera al laboratorio, por lo que era necesario tener más claro el lenguaje para aprovechar bien la herramienta”.

Categoría - Mejora en la confianza y la seguridad debido a la experiencia práctica

Las percepciones que se agruparon en torno a esta categoría se refieren a la mejora en la confianza para experimentar y la seguridad para el estudiante. No se identificaron agrupaciones diferenciadas que pudieran ser organizadas en indicadores, por lo que el análisis se limitó al nivel de categoría. Está relacionada principalmente con la modalidad remota. Una de las características de esta modalidad fue la disposición de las tarjetas FPGA en la modalidad remota (Labsland). Esta opción fue clave para que los estudiantes pudieran realizar sus pruebas sin temor a dañar algún componente físico. De esta forma, los estudiantes realizaron sus pruebas aún con la posibilidad de equivocarse. Además, indicaron que esta posibilidad les permitió aprender más al poder revisar los errores y corregirlos con éxito. 11 menciones se agruparon en torno a esta categoría (6.7 % del total del tema). Algunos ejemplos de las percepciones agrupadas fueron: “No preocuparme por dañar la fpga ayuda mucho”, “Al poder experimentar más, se adquiere más seguridad, pues ya se han cometido errores.”, “Sí, labsland ayudó mucho ya que permitía trabajar desde cualquier lugar y sin miedo de dañar algo, lo que lo hizo más sencillo y didáctico.”.

5.4.3. Elementos de preferencia en el laboratorio híbrido (LH)

Si bien la modalidad de laboratorio híbrido (LH) busca complementar las ventajas de las modalidades integrantes, los estudiantes señalaron sus preferencias por algunos elementos puntuales. Una de las preguntas de la encuesta de percepción permitió indagar acerca de los elementos que gustaron o llamaron la atención de los estudiantes. Se incluyeron elementos tanto de la modalidad remota (LR) como de la modalidad hands-on (HO). A continuación, en la Figura 5-15, se observan las preferencias de los estudiantes.

A partir de esta información recolectada, las características del LR fueron ampliamente valoradas. La accesibilidad presenta una cuota importante de aceptación. Así mismo, la no instalación de programas

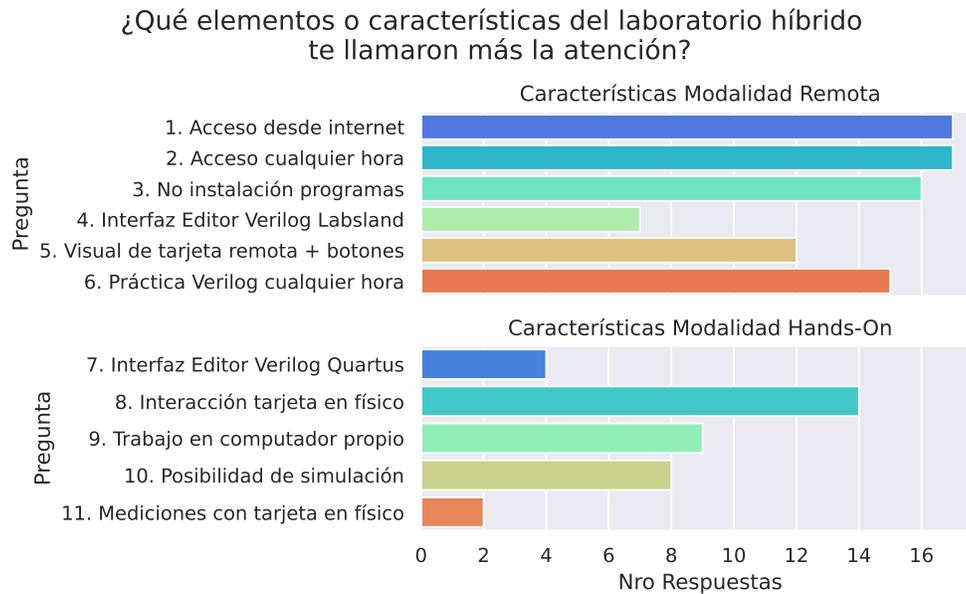


Figura 5-15.: Elementos de preferencia de los estudiantes participantes en la intervención educativa del grupo experimental (GE), en relación con el LH.

y la práctica permanente o disponible en cualquier instante presentan un buen número de respuestas asociadas.

La modalidad HO recibió un menor número de respuestas, pero hay claridad sobre los elementos que aprecian los estudiantes. El que más agrupó respuestas de preferencia fue la interacción con la tarjeta FPGA en físico. También se encuentra un elemento como la posibilidad de trabajar en su computador personal, que fue el segundo en respuestas. Un tercer elemento que llamó la atención de los estudiantes fue la posibilidad de realizar simulación, característica no disponible en el LR.

6. Análisis y discusión de resultados

En el desarrollo de este trabajo, se planteó un diseño de investigación por el cual se obtuvieron resultados asociados a la motivación y el desempeño académico. Este proceso involucró una intervención educativa apoyada en el despliegue de un laboratorio híbrido (LH) en un grupo experimental. De esta forma se organizaron esfuerzos para aportar una respuesta a la pregunta de investigación: ¿cuál es el efecto de aplicar la modalidad de laboratorio híbrido en el desempeño académico y la motivación en el aprendizaje de un HDL de los estudiantes de electrónica digital?.

Los resultados obtenidos permitieron observar varios efectos importantes en la experiencia de aprendizaje de los estudiantes, involucrando un laboratorio híbrido (LH) y sus modalidades integrantes, Hands-On (HO) y Remota (LR). No obstante, los resultados cuantitativos no reflejaron un efecto significativo de manera positiva. Es posible que haya influido el muestreo no aleatorio de los grupos. Con todo, a nivel cualitativo sí se observaron efectos positivos en algunos aspectos de la motivación por aprender y en términos de categorías emergentes. En relación con el rendimiento académico hay observaciones valiosas pero no se encontraron efectos positivos significativos. Con todo, varias de las opiniones, producto de la encuesta aplicada, permitieron extraer información valiosa para complementar con los datos cuantitativos recolectados durante la experiencia.

6.1. Motivación por aprender

En general, los resultados cuantitativos indican que los estudiantes presentaron niveles importantes de motivación al iniciar la intervención educativa. En las respuestas procedentes del MSLQ-Colombia, predominaron los puntajes altos de aprobación en este sentido. Los niveles de ansiedad se encontraron más dispersos, tanto en el grupo control (GC) como en el experimental (GE).

En particular, los resultados en el GC permitieron observar varios efectos a tener en cuenta en distintos aspectos de la motivación por aprender. Los datos cuantitativos mostraron cambios estadísticamente significativos en tres aspectos. Uno de ellos tiene que ver con las *expectativas de auto-eficacia en el rendimiento*. El efecto observado se dió en un sentido negativo. De esta manera, los estudiantes vieron afectada su percepción acerca de la obtención de buenas notas. La experiencia en el laboratorio les hizo pensar que no obtendrían buenas notas. No obstante, vale mencionar que al momento de evaluar este aspecto, pudo verse afectado de antemano. Esto se debe a que los estudiantes conocen,

al menos de forma parcial, varias de sus notas de informes de laboratorio y demás actividades de este espacio.

Otro aspecto afectado, esta vez en sentido positivo, corresponde a las *Creencias sobre control del aprendizaje*. Por lo tanto, los estudiantes mejoraron su percepción acerca de su capacidad de aprender o resolver una actividad gracias al control de su proceso y el esfuerzo que invierte en ello. Esto implica que en el control de su proceso, han dejado de lado factores externos como el docente, la metodología, la dificultad de la temática, etc. Hasta este punto, la causa de la aparición de estos efectos no es conocida. Es complejo atribuir o relacionar los hechos a alguna causa en concreto.

El último aspecto en el cual se observaron efectos significativos en el GC corresponde a la *Valoración de la tarea*. La afectación observada se generó en un sentido negativo. Por lo tanto, los estudiantes vieron una menor utilidad de la temática y la experiencia de laboratorio, bien sea para el futuro de su carrera o para su formación personal. Ahora bien, un resultado similar en este aspecto se observó en el grupo GE. Este grupo, que recibió la intervención con el LH, mostró resultados con efectos significativamente estadísticos en sentido negativo para este aspecto. Esto indica que en ambos grupos los estudiantes se desmotivaron por alguna razón. El tema o actividad en el laboratorio no fue relevante para ellos o su interés disminuyó sin una explicación a la vista. Estos resultados para ambos grupos se reflejaron desde el punto de vista cuantitativo. En la revisión de los resultados cualitativos, no se observó información relevante que pudiera aportar a explicar satisfactoriamente este suceso. Solo unos pocos estudiantes hicieron referencia a este aspecto.

Por lo tanto, se plantea la existencia de alguna situación o factor desmotivante que afectó a ambos grupos. Con el alcance de las observaciones de este estudio, no es posible generar una explicación o posible causa con algún grado de certeza significativo. Como hecho a puntualizar, la intervención con el LH y en especial el LR, no tendría que ver en los resultados desfavorables para este aspecto de valoración de la tarea. Es decir, la intervención educativa aplicada no se contempla como causante de este hecho, acorde a los resultados obtenidos para ambos grupos.

Con respecto a otros aspectos motivacionales, el análisis de datos cuantitativos no permitió observar algún otro efecto significativo atribuible a la intervención. No se presentaron resultados significativamente estadísticos adicionales que fueran favorables o desfavorables en algún sentido.

En relación con el GE, en el análisis cuantitativo no se evidenciaron efectos en los aspectos más allá de valoración de la tarea ya discutido. No obstante, el enfoque cualitativo permitió obtener información sobre otros aspectos motivacionales. Uno de ellos abarca las *expectativas de autoeficacia en el rendimiento*. Es un aspecto que atrajo buen número de percepciones positivas. A partir de los comentarios de los estudiantes, se observó que las herramientas y la experiencia contribuyeron positivamente en su expectativa por obtener buenas notas en general. Otras opiniones puntuales mencionaron que el alcance de este beneficio solamente abarcó el componente de laboratorio. Otros incluso menciona-

ron que la causa de este beneficio fue el laboratorio remoto (LR). Pocas opiniones indicaron que la experiencia no había contribuido en algún sentido a este aspecto motivacional.

Otro hallazgo favorable desde el punto de vista cualitativo tiene que ver con el *control del aprendizaje* de los estudiantes. Un buen número de percepciones permitió establecer que la motivación de los estudiantes en este aspecto mejoró. En particular, algunos indicadores de este hecho se relacionan con la autonomía y la indagación por cuenta propia. Los estudiantes mencionaron que la experiencia impulsó su grado de aprendizaje autónomo e investigación de temática por sí mismos. Algunos puntualizaron sobre el impulso que les generó para indagar y aprender por cuenta propia el lenguaje Verilog. Solo hubo un comentario en contra de estas afirmaciones.

Acorde a Lin *et al.* (2017), es posible que la mejora en el aprendizaje autónomo haya sido influida por un refuerzo en la orientación hacia metas intrínsecas. El aprendizaje autónomo mejora si le antecede un cambio positivo hacia la motivación intrínseca. Ahora, esto se puede ubicar en una relación circular. La mejora en las metas intrínsecas y en general, en la motivación intrínseca, puede ser explicada gracias a la mejora en la autonomía para el aprendizaje señalada en los resultados cualitativos. Así también lo menciona Morelli *et al.* (2022), donde no sólo se aumenta la autonomía sino que resulta un interés por aprender genuino y amplio, lo cual ayuda a llevar el proceso de aprendizaje con buena disposición.

El análisis cualitativo también arrojó datos positivos en otros aspectos. Algunas percepciones apuntaron a una disminución en la *ansiedad asociada a los procesos evaluativos*. Esto se tradujo en una mejora en la confianza para atender requerimientos académicos como las prácticas de laboratorio¹. Los estudiantes destacaron la posibilidad de poder cometer errores. Es decir, una vez que la prueba de un diseño digital resultaba fallida, los estudiantes podían retomarlo y realizar las correcciones del caso. Esta operación podría hacerse sin el temor a un daño de las tarjetas FPGA. Siong y Thow (2017) señalan esta situación como una fase del proceso de aprendizaje, el cual permite al estudiante aumentar su motivación. Por lo tanto, la disposición de herramientas que permitan fallar, incluso a propósito en ciertos casos, permite establecer de mejor forma el proceso de experiencia, reflexión y aplicación que mencionan Siong y Thow (2017).

En menor volumen se registraron mejoras en aspectos de *metas intrínsecas y extrínsecas*. Algunas percepciones apuntaron a una curiosidad incrementada y deseo de aprender la temática, como meta superior a la de la obtención de notas altas como único fin. Finalmente, se registraron percepciones positivas acerca de las expectativas mejoradas en relación con su capacidad para aprender la temática.

¹Si bien existe una categoría emergente con cercanía a este aspecto que se tratará en una sección posterior (*mejora en la confianza de los estudiantes gracias a la práctica con el LR*), el beneficio obtenido también involucra a este aspecto motivacional

6.2. Rendimiento académico en el laboratorio

Los resultados relacionados con el rendimiento se asociaron principalmente a las notas de los informes de laboratorio entregados por los estudiantes. Además, se realizó un acercamiento a los scripts de Verilog que se encuentran incluidos en estas entregas. El comportamiento de las notas observado en los resultados presenta dos variantes principales. Por un lado, se encuentran las notas de los informes aplicados tanto en el GC como en el GE. En el GC, el promedio de notas de informes fue superior aunque con tendencia descendente desde el informe 1 hasta el 6. En el GE, el promedio es inferior, sin una tendencia clara en el transcurso de la experiencia. Por otro lado, se encuentran los resultados de las notas de los scripts. Los resultados del GC muestran una tendencia ascendente, donde los promedios fueron mejorando desde el script 1 hasta el 6. Por parte del GE, el promedio general fue superior al del GC, aunque no se observa una clara tendencia de mejora en el tiempo.

En el trabajo de Barak *et al.* (2016), también se observan tendencias de descenso de las notas en el tiempo, pues las notas fueron disminuyendo su valor paulatinamente. Los autores explican que esto se debe a la complejidad progresiva de las prácticas. Los autores, posterior a este resultado, realizaron un proceso de retroalimentación donde se mejoró el material disponible, la disposición de la práctica gracias a la experiencia misma de los docentes que contribuyó a todo ello. En el siguiente año, se observó la misma tendencia descendente. Aun así, las notas a nivel general presentaron una mejoría notoria. Este hecho indica que si se realizan ajustes y mediciones en un mayor lapso de tiempo, es esperable una mejora del desempeño. En su reflexión, Barak *et al.* (2016) comentan que es importante el despliegue del material de guía en el aprendizaje de los estudiantes. Si bien en este trabajo no se enfocó puntualmente en el desarrollo o investigación sobre la pertinencia del material de guía, es importante indicar que muy pocas percepciones de los estudiantes apuntaron a esta cuestión.

Los resultados de las notas de informes de laboratorio muestran promedios mayores para los equipos del GC. En cambio, las notas de los scripts de Verilog muestran que el GE se comportó mejor en promedio. En realidad el efecto puede ser difícil de evaluar. En la experiencia mostrada por Steger *et al.* (2020), los estudiantes de modalidad HO mostraron mejor rendimiento en comparación con los de modalidad virtual. Aun así, los autores indican que el efecto observado es pequeño y se requiere de más investigación. Por el contrario, en Abdulwahed (2010) se encontró un mejor desempeño académico en el grupo experimental. Otro hallazgo en este estudio fue el incremento en la motivación por proseguir la experimentación basado en la modalidad remota, beneficio que también fue encontrado en los resultados de este trabajo. La mejora de notas también se observó en Lei *et al.* (2018), aunque la duración y mediciones se extendieron en varios cursos durante cinco años.

Vale mencionar que estas comparaciones entre resultados deben ser tomadas con cautela. Los laboratorios híbridos pueden presentar varias diferencias y la metodología de recolección y análisis de datos no es uniforme (J. Ma y Nickerson, 2006). Los instrumentos de recolección también influyen en este sentido (Brinson, 2015). La arquitectura, construcción, y tecnologías involucradas en la funcionalidad

de los laboratorios híbridos posee gran heterogeneidad (Esposito *et al.*, 2021).

Desde el enfoque cualitativo, se encontró que los estudiantes apreciaron las herramientas y la experiencia en general debido al efecto que podría tener en las notas. La información disponible permite inferir que hay características que les ayudaron a obtener mejores notas. Entre ellas se encuentra el disponer de más tiempo o la posibilidad de cambiar la forma en que lo distribuyen para la práctica. Otra causa a la que se atribuye la obtención de buenas notas consiste en la facilidad para realizar la práctica con el laboratorio remoto. Además, se encuentra el hecho de poder de realizar práctica constante. Como consecuencia, todo ello les ayudó a mejorar su comprensión de la temática y en especial, aprender Verilog. Si se revisan los datos de uso del LR, resulta evidente que algunos equipos de trabajo hicieron un uso constante de la herramienta a lo largo de la experiencia. Así, la posibilidad de mayor práctica y flexibilidad en la misma pudo haber contribuido a obtener mejores notas que las que se hubieran logrado sin la experiencia con el LH y sus modalidades. Aunque desde el punto de vista cuantitativo el GE presentó mejor promedio en comparación con el GC, no es evidencia sólida para establecer la causa del efecto en la intervención. Es necesario realizar más estudios que abarquen tiempos más largos de observación y mayor número de participantes. Con ello, se podría dar mejor sustento a los hallazgos cualitativos y eventualmente obtener respaldo con resultados cuantitativos.

Un hallazgo emergente que será abordado en la siguiente sección fue el de la autonomía y la administración del tiempo. Se obtuvieron beneficios en este sentido, pero el desempeño académico no se reflejó en igual manera. A medida que la experiencia avanzó en el tiempo, las notas registradas fueron disminuyendo. Según Pérez-Villalobos *et al.* (2018), si los estudiantes logran organizar sus actividades, tanto académicas como de tiempo libre, el desempeño se verá menos afectado. Por lo tanto, es necesario que los estudiantes continúen mejorando su gestión personal del aprendizaje. Cabe la posibilidad de la existencia de algunos factores “ocultos” no observables que influyen negativamente. El factor socio-económico podría ser uno de ellos. No obstante, autores citados por Rodríguez-Rosero *et al.* (2021) mencionan que este no siempre es un factor determinante en el rendimiento académico.

6.3. Categorías emergentes

Este estudio estuvo orientado hacia la obtención de resultados y hallazgos en relación con la motivación por aprender y el rendimiento académico. No obstante, el análisis de resultados permitió obtener categorías emergentes, claves para complementar y mostrar otros hallazgos sobre la pertinencia de la intervención educativa. En particular, desde el enfoque cualitativo se agruparon un buen número de percepciones de estudiantes que se evidenciaron en categorías adyacentes o emergentes. Estas se organizaron bajo el tema *Beneficios emergentes del laboratorio híbrido (HO y LR)*.

Uno de los problemas que han señalado autores como Acevedo *et al.* (2015) es la falta de buenos

hábitos de estudio. La existencia de herramientas como las desplegadas bajo el LH, ayudaron a impactar positivamente este inconveniente. Las percepciones asociadas se integraron bajo la categoría *Gestión personal del aprendizaje*. Esto es, los estudiantes percibieron que su administración y autonomía del tiempo mejoró de manera importante. Además, les permitió ser eficientes en la preparación de sus prácticas de laboratorio. Por lo tanto, aplicar esta iniciativa en conjunto con otras estrategias para mejorar las técnicas de estudio puede ser positivo. Pueden ayudar a los estudiantes a realizar sus actividades en menor tiempo y organizando mejor sus esfuerzos.

En la revisión de los distintos resultados, el trabajo en equipo no parece haber tenido gran impacto en relación con la modalidad remota. Viegas *et al.* (2018) también mencionan este hecho. Inclusive, esta modalidad podría propiciar una mayor experimentación a nivel individual. Sin embargo, algunas percepciones expresaron que el LR sí ayudó a coordinar mejor los tiempos de trabajo en equipo. Es decir, la dinámica del laboratorio HO usualmente involucra la creación de equipos de trabajo. Esto impulsa a los estudiantes a organizar tiempos de común acuerdo para discutir acerca de las actividades de laboratorio. Esto se pudo observar, al menos hasta cierto nivel, en el LR. Al revisar los resultados de uso por equipo de trabajo, se observó que todos los equipos hicieron uso del LR. Algunos lo hicieron en mayor medida, lo cual pudo haber contribuido al trabajo en equipo. En ocasiones, los estudiantes vieron en el LR un apoyo para este fin. No obstante, el docente a cargo observó que la modalidad HO fue importante para el contacto de equipo entre los estudiantes para el orden y coordinación de sus esfuerzos.

El LR fue ampliamente estimado por parte de los estudiantes participantes del GE. Las características relacionadas con la *Facilidad de acceso a recursos* fueron bien estimadas en buen número de percepciones. Entre otras, los estudiantes mencionaron a la práctica permanente como un hecho positivo para su proceso en el laboratorio. Además, señalaron detalles puntuales como la posibilidad de practicar más, repetir experimentos y realizarlos en horas distintas a las estipuladas para una modalidad HO. En resumen, esto permitió flexibilidad para el acceso en el tiempo y en cualquier ubicación a la experimentación. Así también se refleja en los resultados de uso, donde los estudiantes accedieron al LR en horarios diurnos, coincidentes incluso con el espacio de práctica presencial. Otro bloque de tiempo de práctica se registró después de las seis de la tarde hasta la medianoche. Desde el punto de vista de los días preferidos de práctica, se presentaron accesos registrados todos los días de la semana, con preferencia hacia los fines de semana. Esta flexibilidad también ha sido señalada gracias a resultados similares que han sido observados en trabajos como los de Winzker *et al.* (2018), Kalantzopoulos *et al.* (2013) y Monzo *et al.* (2021). En sus resultados, los autores han mostrado la recepción positiva de iniciativas remotas e híbridas. En particular, el hecho de tener posibilidades de práctica más allá del horario estándar ha generado mejoras en el gusto o la motivación por usar las herramientas. No obstante, este término de motivación es algo general y no se presenta bajo alguna definición o aspecto puntual.

La experiencia fue de utilidad para la *comprensión y dominio de la temática*. Los estudiantes expresaron

diferentes niveles de esta categoría que fueron agrupados en varios indicadores. Uno de ellos fue el refuerzo y la comprensión de la temática de la asignatura en general. De manera similar también lo expresan Lei *et al.* (2018) al hablar de los efectos de una iniciativa híbrida involucrando modalidades virtual+remota. En ese trabajo, los estudiantes percibieron que hubo beneficios para la comprensión de la temática. La asignatura involucrada presentaba conceptos de teoría de control. Se señala como causa de este beneficio a la usabilidad y la pertinencia de la experimentación en relación con lo visto en el aula de clase magistral. Este hecho también se podría extraer a partir de algunas opiniones de los estudiantes. Otro nivel de utilidad reportado es el beneficio en el dominio y el aprendizaje de Verilog. Un hallazgo cercano lo reportaron Ayodele *et al.* (2015), al indicar que los estudiantes comprendieron temáticas de FSM (máquinas de estado finito) y su correspondiente codificación en un HDL. En este caso, la experiencia compartida por los autores involucró la modalidad remota solamente.

La experiencia con las herramientas del laboratorio híbrido (LH) fue percibida como positiva para el desarrollo de las actividades propuestas. En particular, se destaca la *mejora en la preparación y ejecución de prácticas de laboratorio*. En este sentido, las herramientas permitieron a los estudiantes entender en mejor manera el trabajo previo a la práctica. Algunos de ellos señalaron que el poder practicar o probar algún diseño básico o elemental, les permitió comprender mejor la actividad. Además, el desarrollo en sí mismo de la práctica se vió beneficiado. La practicidad de la herramienta remota y la posibilidad de mejorar sus resultados en la modalidad HO mejoró la fluidez de la práctica. Solo se encontraron dos opiniones que mencionaron un efecto nulo en este aspecto.

Algunas percepciones indicaron que el LR fue un paso importante para el trabajo con herramientas de la modalidad HO. En algunos casos, la confianza para trabajar con la tarjeta en físico mejoró gracias a un primer contacto con el LR. Esto va en línea con lo que indican Viegas *et al.* (2018), pues se mencionan posibles efectos positivos de un LR en la disposición y habilidad al momento de trabajar en la modalidad HO. En otros casos, el LR sirvió como apoyo y soporte para el HO. En circunstancias extraordinarias, algún equipo de trabajo no logró acceder a una tarjeta FPGA real para la práctica en HO. Así, el LR actuó como medida de contingencia. En otros entornos donde los costos de acceso a FPGAs son prohibitivos, según Moulay *et al.* (2021), un LR podría ser una opción válida para atender la demanda de práctica.

Otro hecho acerca de la modalidad remota es el tratamiento de la sensación de realidad. Una de las preguntas de la encuesta de percepción indagó por aquellos elementos de ambas modalidades mejor valorados por los estudiantes. El elemento más apreciado de la modalidad HO fue la posibilidad de interactuar con una FPGA real, en sitio. A pesar de tener un LR cuyas tarjetas FPGA presentan buena funcionalidad, despliegue y acceso a distancia, los estudiantes valoran este elemento en la realidad física del laboratorio. Además, los resultados de uso mostraron que los equipos de trabajo presentaron informes usando ambas modalidades. A pesar de que tenían libertad de escoger una u otra modalidad, los estudiantes no se resolvieron por solo una de ellas. Alsaleh *et al.* (2022) habla de la falta de interés que podría suscitar la sensación de no trabajar en el entorno real o de la barrera que impone

alguna separación con el mundo físico. Por lo tanto, es adecuado retener componentes HO en laboratorios híbridos, a fin de que los estudiantes puedan ver incrementado y complementado su interés en la experimentación. Este hecho también se observa en Szóke (2022), Winzker y Schwandt (2019) y AbuShanab *et al.* (2018) donde las percepciones de los estudiantes presentan evidencia acerca del deseo de conservar y aprovechar un componente de práctica HO.

Las percepciones que se recolectaron y analizaron no siempre expresaron información en un sentido único o uniforme. De manera minoritaria, algunos estudiantes expresaron que no usaron el LR porque no fue de su gusto. En otras pocas percepciones, hubo expresiones similares en relación con el HO. Es decir, que el LH ofreció alguna posibilidad a aquellos que en realidad tenían un fuerte descontento por alguna herramienta o modalidad. Este hecho puede ser evidencia de que el LH puede ayudar a ajustar y regular las diferencias de aprendizaje en los aprendices. Así también se expresa en Krneta *et al.* (2012), donde indican que un LH podría ayudar a solventar las diferencias en el estilo de aprendizaje individual a medida que ofrece varias modalidades. Ahora bien, existe la posibilidad de que el LR, desde el punto de vista del estudiante, sea visto sólo como una herramienta más dentro del laboratorio tradicional. Esto se pudo observar a partir de lo expresado en las percepciones. Por lo tanto, si bien este análisis se centra en las bondades de un laboratorio híbrido, es importante tener presente que la visión estudiantil puede no corresponder totalmente con esta estructura de laboratorio. Para ellos se trata de otra herramienta adicional dentro del conjunto de elementos del laboratorio o la asignatura.

Entre las bondades de la modalidad remota se encuentra la posibilidad de realizar pruebas sin el inconveniente de causar daños a la tarjeta FPGA o a las personas presentes. Esta característica fue destacada por los estudiantes. Esta capacidad de realizar numerosas implementaciones permitió observar una *mejora en la confianza y seguridad gracias a la práctica*. Este es un hecho mencionado por Son (2016), pues la posibilidad de repetir varias veces un experimento podría ser benéfico para mejorar en la comprensión de conceptos. Esta consecuencia concuerda con lo encontrado en el análisis de resultados. Por otro lado, Son (2016) precisa que si los riesgos asociados a la experimentación son mitigados o disminuidos, los usuarios con menos experiencia pueden resultar igualmente beneficiados. De hecho, es una de las características que debería tener un laboratorio para el aprendizaje en general (Valencia de Almeida *et al.*, 2022). Puesto que la experiencia se llevó a cabo con estudiantes que no tenían habilidades previas, la intervención educativa resultó positiva para ellos.

Estas características mostradas en los resultados previamente, junto a la posibilidad de alargar tiempo de práctica fue señalada por Viegas *et al.* (2018) como uno de los beneficios de un laboratorio remoto. Buitrago *et al.* (2018) también mencionan otro tanto en el mismo sentido. De esta forma, la modalidad remota jugó un papel fundamental, presentando a los usuarios los beneficios de un laboratorio no tradicional (NTL) como el LR desplegado. Los resultados encontrados van en línea con los beneficios esperados de un laboratorio remoto, también mencionados por Aitor *et al.* (2022). Varios equipos de trabajo aprovecharon esta posibilidad de práctica y flexibilidad a lo largo de la experiencia.

Un hecho de interés es que el LR fue mejor valorado en los resultados cualitativos. Si bien se estaba evaluando el laboratorio híbrido como un todo, el LR tuvo un mayor número de referencias en las percepciones. Esto difiere en cierto modo con lo mencionado por Brinson (2015). El autor menciona que los laboratorios tradicionales (TL) son mejor valorados al aplicar recolección de datos cualitativos.

7. Conclusiones y trabajos futuros

7.1. Conclusiones

La intención de este trabajo consistió en evaluar los efectos en el rendimiento y la motivación por aprender un lenguaje de descripción de hardware (HDL). Para este fin, se llevó a cabo un estudio de tipo cuasi-experimental, mediante el cual se integró un laboratorio híbrido en el componente práctico de una asignatura de electrónica digital. En esta intervención educativa, el laboratorio híbrido se conformó a partir de la integración de las modalidades tradicional (Hands-On) y remota. En el transcurso de esta experiencia se registraron 34 participantes, divididos en dos grupos, uno de control y uno experimental. El laboratorio híbrido se integró en el grupo experimental, mientras que el grupo control se mantuvo con la modalidad tradicional. Para caracterizar la motivación, se utilizó el MSLQ-Colombia, cuyo cuestionario fue aplicado al inicio y al final de la intervención en ambos grupos. Además, se aplicó una encuesta de percepción solamente al grupo experimental. Acerca del rendimiento, se tuvo en cuenta las notas de los informes de laboratorio presentados por los estudiantes. De esta forma, la intervención educativa involucró la recolección de datos cuantitativos y cualitativos para un análisis complementario de la experiencia en el laboratorio.

Los datos cuantitativos fueron obtenidos principalmente a partir de los resultados del cuestionario MSLQ-Colombia y las notas de informes de laboratorio. Acerca del cuestionario, el análisis de los datos permitió observar que no se presentó ninguna diferencia estadística significativa en sentido positivo para los aspectos de motivación. Por el contrario, la valoración de la tarea registró afectación negativa con significancia estadística, en ambos grupos. No fue posible establecer la causa común por la cual se afectó este aspecto. La intervención con el laboratorio híbrido no se contempla como causa probable de este hecho. Desde el punto de vista cualitativo, los datos aportaron información sobre las demás aspectos de la motivación. Se obtuvieron resultados positivos acerca del control del aprendizaje y la autoeficacia en el rendimiento. Los estudiantes percibieron beneficios en relación con el aprendizaje e indagación de temáticas de forma autónoma, buenas expectativas en el rendimiento y niveles de ansiedad más bajos debidos a la confianza que generó la experimentación en el laboratorio. Los resultados para el rendimiento no presentaron efectos novedosos pero fueron comparables a lo encontrado en la literatura. A pesar de ello, los estudiantes valoraron la experiencia como positiva para sus calificaciones.

La experiencia permitió encontrar efectos más allá de las variables del objetivo inicial. En general, estos hallazgos dieron cuenta de la buena aceptación de la experiencia, particularmente de la he-

herramienta remota. Los estudiantes mencionaron que su incorporación en conjunto con la modalidad tradicional contribuyó a diversos aspectos de la práctica en el laboratorio. Se encontraron beneficios del laboratorio híbrido en relación con la Gestión personal del aprendizaje y Facilidad del acceso a los recursos del laboratorio, entre otros. Se percibió una mejor comprensión de la temática y un mejor desarrollo de la práctica de laboratorio en cuanto a eficiencia y preparación de la misma. El manejo de elementos como una FPGA, inicialmente de manera remota y luego de forma presencial, permitió aumentar la confianza para llevar a cabo la experimentación con mayor seguridad. Este hecho, junto a otras opiniones sobre las herramientas disponibles, permitieron destacar la necesidad de conservar elementos presenciales para aumentar la buena disposición por aprender en el laboratorio.

Los hallazgos sobre los efectos del laboratorio híbrido permitieron aportar evidencia en la integración de iniciativas de laboratorios remotos en conjunto con modalidades tradicionales. El foco se centró en la motivación y el rendimiento en asignaturas de electrónica digital que involucran temática y práctica con un HDL en niveles básicos. Como consecuencia, un efecto encontrado fue la amplia aceptación de esta iniciativa entre los estudiantes. Esto ya había sido observado en los trabajos de otros autores, quienes han indicado la apertura y buena opinión general sobre iniciativas remotas e híbridas. Así mismo, se reportaron efectos relacionados con el rendimiento a través de las notas, cuyo comportamiento fue comparado con otros reportes en la literatura. Como producto de estas observaciones y hallazgos, se ha presentado evidencia empírica que contribuye a la comprensión del impacto en el aprendizaje de determinadas iniciativas enfocadas en la parte práctica, tales como un laboratorio híbrido.

Para finalizar, es importante señalar algunas circunstancias que pueden afectar la validez del estudio realizado. Entre ellas se encuentra el número de participantes. Los grupos involucrados en el estudio eran relativamente pequeños y no fueron escogidos aleatoriamente. En futuras investigaciones se podría considerar ampliar el número de participantes. Incluso se puede contemplar la ampliación del estudio a más instituciones educativas. Así, no se tendrían resultados relacionados con un solo contexto institucional. Por otro lado, se encuentra el hecho de que la estructura de prácticas de laboratorio no estuviera estrictamente sujeta a una modalidad de laboratorio híbrido. Los estudiantes tenían libertad para escoger con cuál modalidad querían trabajar en cada actividad. Esto podría tener un mejor abordaje en futuras intervenciones con iniciativas de laboratorio híbrido y sus modalidades integrantes.

7.2. Publicaciones

Rodríguez, F. A., Ramírez-Echeverry, J. J., y Restrepo-Calle, F. (2023). *Integration of a hybrid laboratory for learning in digital electronics: an educational experience. Proceedings of the 21th LACCEI International Multi-Conference for Engineering, Education and Technology (LACCEI 2023). Hybrid Event, Buenos Aires, Argentina, July 17-21, 2023.* <https://doi.org/10.18687/LACCEI2023.1.1.1292>

7.3. Trabajos futuros

A lo largo del trabajo realizado, las etapas de diseño, recolección y análisis de datos permitieron establecer hallazgos útiles para aportar al cuerpo de investigación relacionado. Con base en esta experiencia, existen algunos trabajos que podrían extender y ayudar a comprender en mejor manera los efectos de iniciativas con laboratorios híbridos en asignaturas de electrónica digital con un HDL involucrado.

Sería interesante extender los esfuerzos a un mayor número de participantes. Se podrían involucrar más docentes del área, bien sea en el diseño o en la ejecución y acompañamiento de nuevas intervenciones. En relación con el resultado de este trabajo, se podrían proponer intervenciones para indagar acerca de la disminución en la valoración de la tarea en los grupos involucrados. Por otro lado, existen herramientas de calificación automática orientadas a código en lenguajes de descripción de hardware. Esta clase de herramientas podría ayudar a afinar los resultados para centrarse en elementos puntuales de impacto y mejora. Otras iniciativas podrían apuntar a involucrar otras asignaturas que son susceptibles de involucrar un HDL. Algunas de ellas consisten en fundamentación de elementos de computadores, por lo cual sería interesante explorar efectos en esa vía en un ámbito de ingeniería más amplio. Todo esto aplica para variables como motivación por aprender, estrategias de aprendizaje o interacciones de los estudiantes con su entorno (laboratorio, elementos, docentes, compañeros), acorde al avance y estado del arte para esta y otras variables más. Otras variables a abordar en conjunto pueden ayudar a ir complementando el panorama para integrar laboratorios híbridos satisfactoriamente.

Desde el punto de vista del rendimiento académico, los factores que influyen en su evolución pueden ser variados. Para que los resultados sean más consistentes, se podría considerar extender los tiempos de intervención y observación. Existe la posibilidad de que variables como el tiempo y la experiencia acumulada con el LH desde el punto de vista docente e institucional influya en las notas. Según Lei *et al.*, 2018, las calificaciones mejoraron gracias a la incorporación de experimentos virtuales y remotos, a modo de un LH. No obstante, en ese trabajo se realizaron mediciones de notas durante cinco años. Si la intervención educativa se desplegara por mayor tiempo, se podrían generar nuevas conclusiones acerca del desempeño académico. Esto se constituye como un posible trabajo a futuro.

Finalmente, se encuentra el hecho de organizar esfuerzos para poner a disposición herramientas remotas. La comunidad académica podría disponer de ellas para complementar los esfuerzos de los laboratorios presenciales. Las ventajas expuestas en este y otros trabajos dan cuenta de su pertinencia. Si se realiza un análisis de costos, demanda y opciones con eficacia probada, los resultados podrían ser significativamente buenos para los estudiantes y la comunidad académica en general.

A. Anexo: Ítems del instrumento MSLQ-Colombia

Tabla A-1.: Ítems de Motivación por aprender, sub-escala: Metas intrínsecas

Número de Ítem	Ítem
1	En esta asignatura, prefiero estudiar temas que sean desafiantes para mí con el fin de aprender cosas nuevas.
16	En esta asignatura, prefiero estudiar temas que despierten mi curiosidad aunque sean difíciles de aprender.
23	Cuando en esta asignatura tengo la oportunidad de escoger, elijo los trabajos o actividades con los que puedo aprender cosas nuevas aunque no me garanticen buenas calificaciones.

Tabla A-2.: Ítems de Motivación por aprender, sub-escala: Metas extrínsecas

Número de Ítem	Ítem
7	Obtener una buena calificación en esta asignatura es la mayor satisfacción para mí en estos momentos.
11	Mi meta más importante ahora es mejorar mi promedio académico de la carrera, por eso mi preocupación principal en esta asignatura es obtener buenas calificaciones.
13	Mi meta es que mi nota definitiva en esta asignatura sea de las mejores del grupo.
29	Quiero obtener un buen desempeño académico en esta asignatura para demostrar a los demás mis capacidades.

Tabla A-3.: Ítems de Motivación por aprender, sub-escala: Valoración de la tarea

Número de Ítem	Ítem
4	Considero que lo que estoy aprendiendo en esta asignatura es de mucha utilidad porque lo podré aplicar en otras asignaturas.
10	Considero muy importante para mí, aprender los temas de esta asignatura.
17	Estoy muy interesado en el contenido de esta asignatura.
22	Considero que los temas de esta asignatura son útiles para mi formación.
25	Me gusta la temática de esta asignatura.
26	Considero muy importante para mí, entender la temática de esta asignatura.

Tabla A-4.: Ítems de Motivación por aprender, sub-escala: Control del Aprendizaje

Número de Ítem	Ítem
2	Pienso que depende de mí estudiar de manera apropiada, esto me llevará a aprender en esta asignatura.
9	Pienso que de mí depende aprender en esta asignatura.
18	De mi esfuerzo depende lo que aprenderé en esta asignatura.
24	Pienso que el nivel de comprensión del tema de esta asignatura depende de mí.

Tabla A-5.: Ítems de Motivación por aprender, sub-escala: Expectativas de autoeficacia en el rendimiento

Número de Ítem	Ítem
5	Confío en que obtendré una buena calificación definitiva en esta asignatura.
20	Espero presentar excelentes exámenes y trabajos en esta asignatura.
21	Espero tener un buen desempeño académico en esta asignatura.
30	Considerando la dificultad de la asignatura, los profesores y mis habilidades, pienso que tendré un buen desempeño académico en esta asignatura.

Tabla A-6.: Ítems de Motivación por aprender, sub-escala: Expectativas de autoeficacia en el aprendizaje

Número de Ítem	Ítem
6	Estoy convencido que soy capaz de entender incluso los temas más difíciles que presentan los libros recomendados para la asignatura.
12	Confío en que soy capaz de entender los conceptos principales que se enseñan en esta asignatura.
15	Confío en que soy capaz de entender hasta los temas más complicados que explique el profesor en esta asignatura.
28	Estoy convencido de ser capaz de dominar las habilidades que se enseñan en esta asignatura.

Tabla A-7.: Ítems de Motivación por aprender, sub-escala: Ansiedad en procesos evaluativos

Número de Ítem	Ítem
3	Cuando presento exámenes en esta asignatura, pienso que lo estoy haciendo mal en comparación con la forma en que lo hacen otros estudiantes de la clase.
8	Cuando presento exámenes de la asignatura, me intranquilizo si hay preguntas que no sé responder.
14	Cuando presento una evaluación en esta asignatura, pienso en las consecuencias que tendría sacar una mala nota.
19	Siento preocupación y ansiedad cuando presento evaluaciones en esta asignatura.
27	Cuando presento exámenes en esta asignatura, mi ritmo cardíaco se acelera.

Bibliografía

- Abdulwahed, M. (2010). Towards enhancing laboratory education by the development and evaluation of the "TriLab": a triple access mode (virtual, hands-on and remote) laboratory. <https://hdl.handle.net/2134/6355>
- Abdulwahed, M., y Nagy, Z. K. (2013). Developing the TriLab, a triple access mode (hands-on, virtual, remote) laboratory, of a process control rig using LabVIEW and Joomla. *Computer Applications in Engineering Education*, 21, 614-626. <https://doi.org/10.1002/cae.20506>
- AbuShanab, S., Winzker, M., Brück, R., y Schwandt, A. (2018). A study of integrating remote laboratory and on-site laboratory for low-power education. *2018 IEEE Global Engineering Education Conference (EDUCON)*, 405-414. <https://doi.org/10.1109/EDUCON.2018.8363259>
- Acevedo, D., Torres, J. D., y Tirado, D. F. (2015). Análisis de los Hábitos de Estudio y Motivación para el Aprendizaje a Distancia en Alumnos de Ingeniería de Sistemas de la Universidad de Cartagena (Colombia). *Formación universitaria*, 8, 59-66. <https://doi.org/10.4067/S0718-50062015000500007>
- Ackovska, N., y Kirandziska, V. (2017). The importance of hands-on experiences in robotics courses. *IEEE EUROCON 2017 -17th International Conference on Smart Technologies*, 56-61. <https://doi.org/10.1109/EUROCON.2017.8011077>
- Aitor, V.-M., Garcia-Zubia, J., Angulo, I., y Rodriguez-Gil, L. (2022). Toward Widespread Remote Laboratories: Evaluating the Effectiveness of a Replication-Based Architecture for Real-World Multiinstitutional Usage. *IEEE Access*, 10, 86298-86317. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2022.3198961>
- Alsaleh, S., Tepljakov, A., Kose, A., Belikov, J., y Petlenkov, E. (2022). ReImagine Lab: Bridging the Gap Between Hands-On, Virtual and Remote Control Engineering Laboratories Using Digital Twins and Extended Reality. *IEEE Access*, 10, 89924-89943. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2022.3199371>
- Andía, A. Q., Vasquez, K. C., Vicente, J. Y., López, J. R., y Palomino, I. P. (2019). *Estadística no paramétrica aplicada a la investigación científica con software SPSS, MINITAB Y EXCEL*. ISBN (E. EIDEC, Ed.; Vol. 1). www.editorialeidec.com
- Angulo, I., Garcia-Zubia, J., Orduna, P., Rodriguez-Gil, L., y Villar, A. (2019). Integral Remote laboratory for Programmable Logic. *2019 5th Experiment International Conference (exp.at'19)*, 253-255. <https://doi.org/10.1109/EXPAT.2019.8876561>
- Ariza, C. P., Ángel, L., Toncel, R., y Blanchar, J. S. (2018). El rendimiento académico: una problemática compleja. *Pedagogy, pedagogues and fields of education*, 137-141. <https://revista.redipe.org/index.php/1/article/view/527>

- Ayodele, K. P., Inyang, I. A., y Kehinde, L. O. (2015). An iLab for Teaching Advanced Logic Concepts With Hardware Descriptive Languages. *IEEE Transactions on Education*, 58, 262-268. <https://doi.org/10.1109/TE.2015.2395996>
- Barak, M., Kastelan, I., y Azia, Z. (2016). Exploring aspects of self-regulated learning among engineering students learning digital system design in the FPGA environment-methodology and findings. *Advances in Intelligent Systems and Computing*, 421, 139-160. https://doi.org/10.1007/978-3-319-27540-6_10/FIGURES/11
- Bauer, F., Braun, F., Hauer, D., Jantsch, A., Kobelrausch, M. D., Mosbeck, M., TaheriNejad, N., y Vogt, P.-S. (2021). MELODI: An Online Platform for Mass Education of Digital Design - HDL to Remote FPGA. *2021 31st International Conference on Field-Programmable Logic and Applications (FPL)*, 399. <https://doi.org/10.1109/FPL53798.2021.00084>
- Becker, K. (2014). A web based tool for teaching hardware design based on the plain simple hardware description language (I. E. Society, B. Üniversitesi, A. I. C. Conference y I. G. E. E. C. 5. 2.-0. Istanbul, Eds.). *2014 IEEE Global Engineering Education Conference (EDUCON)*, 957-960.
- Bhute, V. J., Inguva, P., Shah, U., y Brechtelsbauer, C. (2021). Transforming traditional teaching laboratories for effective remote delivery—A review. *Education for Chemical Engineers*, 35, 96-104. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.ece.2021.01.008>
- Bhute, V. J., Sengupta, S., Campbell, J., Shah, U. V., Heng, J. Y., y Brechtelsbauer, C. (2022). Effectiveness of a large-scale implementation of hybrid labs for experiential learning at Imperial College London. *Education for Chemical Engineers*, 39, 58-66. <https://doi.org/10.1016/j.ece.2022.03.001>
- Boluda, J. C., Peiro, M. A., Torres, M. A. L., Girones, R., y Palero, R. J. C. (2006). An active methodology for teaching electronic systems design. *IEEE Transactions on Education*, 49, 355-359. <https://doi.org/10.1109/TE.2006.879247>
- Bowden, D., Phillips, C., y Weitzen, J. (2019). Teaching Circuits and Electronics Laboratory – Beyond the Brick and Mortar Walls. *2019 ASEE Annual Conference and Exposition Proceedings*. <https://doi.org/10.18260/1-2--33345>
- Brinson, J. R. (2015). Learning outcome achievement in non-traditional (virtual and remote) versus traditional (hands-on) laboratories: A review of the empirical research. *Computers and Education*, 87, 218-237. <https://doi.org/10.1016/j.compedu.2015.07.003>
- Broadbent, J., y Poon, W. L. (2015). Self-regulated learning strategies and academic achievement in online higher education learning environments: A systematic review. *The Internet and Higher Education*, 27, 1-13. <https://doi.org/10.1016/J.IHEDUC.2015.04.007>
- Brown, P. R., McCord, R. E., Matusovich, H. M., y Kajfez, R. L. (2015). The use of motivation theory in engineering education research: a systematic review of literature. *European Journal of Engineering Education*, 40, 186-205. <https://doi.org/10.1080/03043797.2014.941339>
- Bryman, A. (2012). *Social Research Methods* (O. U. Press, Ed.; 4.ª ed.).
- Buitrago, P., Camacho, R., Orduña, P., Villar, A., Rodríguez-Gil, L., Angulo, I., y García-Zubío, J. (2018). Use of Remote Laboratories in Engineering as an Alternative to Pedagogical Mediation and

- Social Inclusion in Distance Education. 2018 *Congreso Internacional de Innovación y Tendencias en Ingeniería (CONIITI)*, 1-6. <https://doi.org/10.1109/CONIITI.2018.8587076>
- Campi, F., y Ancill, J. (2016). Introducing IC reliability elements in digital circuits and systems design education. 2016 *IEEE International Symposium on Circuits and Systems (ISCAS)*, 137-140. <https://doi.org/10.1109/ISCAS.2016.7527189>
- Canavan, D., Morgan, F., Bako, L., Hajdu, S., Callaly, F., Boyd, A., O'Loughlin, D., Audiger, J., Boyer, Y., Timlin-Canning, N., Bertrand, M., y Espanol, J. (2018). Audio DSP remote hardware prototyping and console creation. 2018 *29th Irish Signals and Systems Conference (ISSC)*, 1-6. <https://doi.org/10.1109/ISSC.2018.8585383>
- Cano-Quiveu, G., Ruiz-De-Clavijo-Vazquez, P., Bellido-Diaz, M. J., Guerrero-Martos, D., Viejo-Cortes, J., y Juan-Chico, J. (2021). An Integrated Digital System Design Framework With On-Chip Functional Verification and Performance Evaluation. *IEEE Access*, 9, 161383-161394. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2021.3132188>
- Chen, S.-L., Lai, Y.-K., Hu, W.-C., y Chung, W.-Y. (2013). Case-Based Instruction of Digital Integrated Circuit Design Courses for Non-major Undergraduates. 2013 *Learning and Teaching in Computing and Engineering*, 172-177. <https://doi.org/10.1109/LaTiCE.2013.21>
- Chen, S.-L., Lai, Y.-K., Hu, W.-C., y Chung, W.-Y. (2014). Case-based instruction in digital integrated circuit design courses for non-major students. *INTERNATIONAL JOURNAL OF ELECTRICAL ENGINEERING EDUCATION*, 51, 232-244. <https://doi.org/10.7227/IJEEE.51.3.5>
- Chowdhury, S. R., Wardhan, H., Karri, S. K., Kode, S., y Nagaraju, K. (2013). Smart Learning Environments for Teaching Electronics to Students. 2013 *IEEE Fifth International Conference on Technology for Education (t4e 2013)*, 174-175. <https://doi.org/10.1109/T4E.2013.50>
- Cifredo-Chacón, M. D. L. Á., Quirós-Olozábal, Á., y Guerrero-Rodríguez, J. M. (2015). Computer architecture and FPGAs: A learning-by-doing methodology for digital-native students. *Computer Applications in Engineering Education*, 23, 464-470. <https://doi.org/10.1002/cae.21617>
- Corso Pinzón, A. F. (2023). *Prototipo de una herramienta de software de calificación automática con proceso de realimentación para el apoyo al aprendizaje de lenguajes de descripción de hardware* [Tesis de maestría, Universidad Nacional de Colombia]. Universidad Nacional de Colombia. <https://repositorio.unal.edu.co/handle/unal/83931>
- Corso Pinzón, A. F., Ramírez-Echeverry, J. J., y Restrepo-Calle, F. (2023). Automated grading software tool with feedback process to support learning of hardware description languages. *Research and Practice in Technology Enhanced Learning*, 19, 015. <https://doi.org/10.58459/rptel.2024.19015>
- Cossu, R., Awidi, I., y Nagy, J. (2022). Can we use online technology to re jig the traditional laboratory experience to improve student engagement? *Higher Education Pedagogies*, 7, 1-19. <https://doi.org/10.1080/23752696.2022.2068155>
- Cuadros, J., Serrano, V., García-Zubía, J., y Hernandez-Jayo, U. (2021). Design and Evaluation of a User Experience Questionnaire for Remote Labs. *IEEE Access*, 9, 50222-50230. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2021.3069559>

- Curcio, G., Ferrara, M., y Gennaro, L. D. (2006). Sleep loss, learning capacity and academic performance. *Sleep Medicine Reviews*, 10, 323-337. <https://doi.org/10.1016/J.SMRV.2005.11.001>
- Danowitz, A. (2016). Leveraging the final project to improve student motivation in introductory digital design courses. *Proceedings - Frontiers in Education Conference, FIE, 2016-November*. <https://doi.org/10.1109/FIE.2016.7757380>
- Donzellini, G., y Ponta, D. (2016). Digital design laboratory. *Proceedings of the Biennial Baltic Electronics Conference, BEC, 2016-November*, 67-70. <https://doi.org/10.1109/BEC.2016.7743730>
- Duckworth, A. L., Taxer, J. L., Eskreis-Winkler, L., Galla, B. M., y Gross, J. J. (2019). Self-Control and Academic Achievement. *Annu. Rev. Psychol*, 70, 373-399. <https://doi.org/10.1146/annurev-psych-010418>
- Ebeling, C., y French, B. (2007). Abstract Verilog: A Hardware Description Language for Novice Students. *2007 IEEE International Conference on Microelectronic Systems Education (MSE'07)*, 105-106. <https://doi.org/10.1109/MSE.2007.16>
- Esposito, G., Mezzogori, D., Reverberi, D., Romagnoli, G., Ustenko, M., y Zammori, F. (2021). Non-Traditional Labs and Lab Network Initiatives: A Review. *International Journal of Online and Biomedical Engineering (iJOE)*, 17, 4. <https://doi.org/10.3991/ijoe.v17i05.20991>
- Flores, A., Raffo, M., Balcazar, M., e Yllahuaman, K. (2021). Remote Laboratory for Teaching Digital Design using a VPN and embedded system. *2021 IEEE XXVIII International Conference on Electronics, Electrical Engineering and Computing (INTERCON)*, 1-4. <https://doi.org/10.1109/INTERCON52678.2021.9532871>
- Fujii, N., y Koike, N. (2017). IoT Remote Group Experiments in the Cyber Laboratory: A FPGA-based Remote Laboratory in the Hybrid Cloud. *2017 International Conference on Cyberworlds (CW)*, 162-165. <https://doi.org/10.1109/CW.2017.29>
- Garijo, D., y Senhadji, R. (2016). cCLAB: A Tool for Remote Verification of FPGA-based Circuits. *IEEE Latin America Transactions*, 14, 1115-1121. <https://doi.org/10.1109/TLA.2016.7459587>
- Gomez-Gonzalez, I. M., Juan-Chico, J., Castro-Garcia, J. A., Merino-Monge, M., y Molina-Cantero, A. J. (2022). A methodological proposal for the Digital Electronics subject laboratory. *2022 Congreso de Tecnología, Aprendizaje y Enseñanza de la Electrónica (XV Technologies Applied to Electronics Teaching Conference)*, 1-5. <https://doi.org/10.1109/TAAE54169.2022.9840720>
- Gopalan, V., Bakar, J. A. A., Zulkifli, A. N., Alwi, A., y Mat, R. C. (2017). A review of the motivation theories in learning. *AIP Conference Proceedings*, 1891, 20043. <https://doi.org/10.1063/1.5005376/887560>
- Haase, J. (2022). Flipped Classroom with Digital Circuits: An HTML5-based Interactive Simulation Tool. *2022 IEEE Global Engineering Education Conference (EDUCON), 2022-March*, 307-312. <https://doi.org/10.1109/EDUCON52537.2022.9766782>
- Harris, D. M., y Harris, S. L. (2012, enero). *Digital design and computer architecture* (Second). Morgan Kaufmann. <https://doi.org/10.1016/C2011-0-04377-6>
- Henke, K., Tabunshchik, G., Wuttke, H.-D., Vietzke, T., y Ostendorff, S. (2014). Using Interactive Hybrid Online Labs for Rapid Prototyping of Digital Systems. *International Journal of Online Engineering (iJOE)*, 10. <https://doi.org/10.3991/ijoe.v10i5.3994>

- Hernández, R. S., Collado, C. F., y Lucio, P. B. (2014). *Metodología de la investigación* (McGraw-Hill, Ed.; 6.ª ed.).
- Huang, T. X. H., Chu, R. H., y Jones, P. W. (2021). Hybrid Mode: A New Norm for Electrical Engineering Laboratory Education? <https://doi.org/10.3316/informit.346045874643608>
- Huang, T.-C., Lei, T., Shao, L., Sivapurapu, S., Swaminathan, M., Li, S., Bao, Z., Cheng, K.-T., y Beausoleil, R. (2019). Process Design Kit and Design Automation for Flexible Hybrid Electronics. 2019 *International Symposium on VLSI Design, Automation and Test (VLSI-DAT)*, 1-2. <https://doi.org/10.1109/VLSI-DAT.2019.8741745>
- IEEE. (s.f.). 2009 IEEE Thesaurus. <https://www.ieee.org/content/dam/ieee-org/ieee/web/org/pubs/ieee-thesaurus.pdf>
- Intel Corporation. (s.f.). Recursos del Centro de soporte de software de diseño Intel® Quartus®. <https://www.intel.la/content/www/xl/es/support/programmable/support-resources/design-guidance/quartus-support.html>
- Jensen, M. (2015). Personality Traits, Learning and Academic Achievements. *Journal of Education and Learning*, 4. <https://doi.org/10.5539/jel.v4n4p91>
- Jethra, J. S. T., Patkar, S. B., y Datta, S. (2014). Remote Triggered FPGA based Automated System. 2014 *11th International Conference on Remote Engineering and Virtual Instrumentation (REV)*, 309-314. <https://doi.org/10.1109/REV.2014.6784177>
- Jimenez-Fernandez, C. J., Oliva, C. B., Fernandez, P. P., Soto, A. G., Ordonez, F. E. P., y Barrero, M. V. (2020). Learning VHDL through teamwork FPGA game design. 2020 *XIV Technologies Applied to Electronics Teaching Conference (TAE)*, 1-5. <https://doi.org/10.1109/TAE46915.2020.9163756>
- Jiménez-Fernández, C. J., Oliva, C. B., Fernández, P. P., Potestad-Ordóñez, F. E., y Valencia-Barrero, M. (2020). An Academic Approach to FPGA Design Based on a Distance Meter Circuit. *IEEE Revista Iberoamericana de Tecnologías del Aprendizaje*, 15, 123-128. <https://doi.org/10.1109/RITA.2020.3008343>
- Johnson, M. C. (2011). Interactive application for learning RTL code structures. 2011 *IEEE International Conference on Microelectronic Systems Education*, 122-125. <https://doi.org/10.1109/MSE.2011.5937110>
- Jurc, J., Sterbak, M., y Kontsek, M. (2020). Virtual laboratories and their usage in university environment. 2020 *18th International Conference on Emerging eLearning Technologies and Applications (ICETA)*, 260-265. <https://doi.org/10.1109/ICETA51985.2020.9379179>
- Kalantzopoulos, A., Galetakis, E., Katsenos, C., y Zigouris, E. (2013). An Interactive Remote Laboratory on Basic Computer Architecture Using Altera DE2 Board. *International Journal of Online and Biomedical Engineering (iJOE)*, 9, 9. <https://doi.org/10.3991/ijoe.v9i5.2675>
- Kłoda, R., y Piwiński, J. (2017). E2LP remote laboratory: Evolution of the system and lessons learned. *Advances in Intelligent Systems and Computing*, 543, 799-809. https://doi.org/10.1007/978-3-319-48923-0_85

- Korud, V., Hamola, O., Rendzinyak, S., y Gajduchok, O. (2015). The advantages of the hybrid laboratory work on electrical engineering. *2015 16th International Conference on Computational Problems of Electrical Engineering (CPEE)*, 81-83. <https://doi.org/10.1109/CPEE.2015.7333343>
- Krneta, R., Damjanovic, D., Milosevic, M., Milosevic, D., y Topalovic, M. (2012). Blended Learning of DSP Through the Integration of On-Site and Remote Experiments.
- Kumar, A., Panicker, R. C., y Kassim, A. (2013). Enhancing VHDL learning through a light-weight integrated environment for development and automated checking. *Proceedings of 2013 IEEE International Conference on Teaching, Assessment and Learning for Engineering (TALE)*, 570-575. <https://doi.org/10.1109/TALE.2013.6654502>
- Lamas, H. A. (2015). Sobre el rendimiento escolar. *Propósitos y Representaciones*, 3, 351-386. <https://doi.org/10.20511/pyr2015.v3n1.74>
- Lei, Z., Zhou, H., Hu, W., Deng, Q., Zhou, D., Liu, Z. W., y Lai, J. (2018). Modular Web-Based Interactive Hybrid Laboratory Framework for Research and Education. *IEEE Access*, 6, 20152-20163. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2018.2821713>
- Lin, M.-H., Chen, H.-C., y Liu, K.-S. (2017). A Study of the Effects of Digital Learning on Learning Motivation and Learning Outcome. *Eurasia Journal of Mathematics, Science and Technology Education*, 13, 3553-3564. <https://doi.org/10.12973/eurasia.2017.00744a>
- Lucena, F. J. H., Díaz, I. A., Rodríguez, J. M. R., y Marín, J. A. M. (2019). Influencia del aula invertida en el rendimiento académico. Una revisión sistemática. *Campus Virtuales*, 8, 9-18. www.revistacampusvirtuales.es
- Luse, A., Brown, A., y Rursch, J. (2021). Instruction in 802.11 Technology in Online Virtual Labs. *IEEE Transactions on Education*, 64, 12-17. <https://doi.org/10.1109/TE.2020.2998701>
- Ma, J., y Nickerson, J. V. (2006). Hands-on, simulated, and remote laboratories. *ACM Computing Surveys*, 38, 7. <https://doi.org/10.1145/1132960.1132961>
- Ma, L.-Y., y Soin, N. (2022). Recent Progress in Printed Physical Sensing Electronics for Wearable Health-Monitoring Devices: A Review. *IEEE Sensors Journal*, 22, 3844-3859. <https://doi.org/10.1109/JSEN.2022.3142328>
- Magyari, A., y Chen, Y. (2021). FPGA Remote Laboratory Using IoT Approaches. *Electronics*, 10, 2229. <https://doi.org/10.3390/electronics10182229>
- Mamani, N. M., Garcia-Penalvo, F. J., Conde, M. A., y Goncalves, J. (2021). A systematic mapping about simulators and remote laboratories using hardware in the loop and robotic: Developing STEM/STEAM skills in pre-university education. *2021 International Symposium on Computers in Education (SIIE)*, 1-6. <https://doi.org/10.1109/SIIE53363.2021.9583622>
- Martin, S., Parra, G., Cubillo, J., Quintana, B., Gil, R., Perez, C., y Castro, M. (2020). Design of an Augmented Reality System for Immersive Learning of Digital Electronic. *2020 XIV Technologies Applied to Electronics Teaching Conference (TAEE)*, 1-6. <https://doi.org/10.1109/TAEE46915.2020.9163704>
- Martin-Gutierrez, S., Joya-Guirado, L., y Castro-Gil, M. (2016). DISEÑO DE LABORATORIO REMOTO ABIERTO PARA ELECTRÓNICA DIGITAL. *DYNA New Technologies*, 3, 13. <https://doi.org/DOI:https://doi.org/10.6036/NT7949>

- Materzok, M. (2019). DigitalJS: a Visual Verilog Simulator for Teaching. *Proceedings of the 8th Computer Science Education Research Conference on ZZZ*, 110-115. <https://doi.org/10.1145/3375258.3375272>
- Mayoof, S., Alaswad, H., Aljeshi, S., Tarafa, A., y Elmedany, W. (2020). A hybrid circuits-cloud: Development of a low-cost secure cloud-based collaborative platform for A/D circuits in virtual hardware E-lab. *Ain Shams Engineering Journal*. <https://doi.org/10.1016/j.asej.2020.09.012>
- Mayoof, S., Alaswad, H., Aljeshi, S., Tarafa, A., y Elmedany, W. (2021). A hybrid circuits-cloud: Development of a low-cost secure cloud-based collaborative platform for A/D circuits in virtual hardware E-lab. *Ain Shams Engineering Journal*, 12, 1197-1209. <https://doi.org/10.1016/j.asej.2020.09.012>
- Mayoz, C. A., da Silva Beraldo, A. L., Villar-Martinez, A., Rodriguez-Gil, L., de Souza Seron, W. F. M., y Orduña, P. (2020). FPGA remote laboratory: experience of a shared laboratory between UPNA and UNIFESP. *2020 XIV Technologies Applied to Electronics Teaching Conference (TAAE)*, 1-8. <https://doi.org/10.1109/TAAE46915.2020.9163773>
- Mohsen, A. E., GadAlrab, M. Y., e. Mahmoud, Z., Alshaer, G., Asy, M., y Mostafa, H. (2019). Remote FPGA Lab For ZYNQ and Virtex-7 Kits. *2019 IEEE 62nd International Midwest Symposium on Circuits and Systems (MWSCAS)*, 185-188. <https://doi.org/10.1109/MWSCAS.2019.8885064>
- Molnar, G., Orosz, B., Balogh, Z., Fodor, K., Francisti, J., Cserko, J., y Balazs, B. (2022). Possibilities and Challenges of Monitoring and Evaluating Digital Education in Electronic Environments from a Pedagogical and Technological Perspective. *2022 IEEE 20th Jubilee World Symposium on Applied Machine Intelligence and Informatics (SAMI)*, 000069-000072. <https://doi.org/10.1109/SAMI54271.2022.9780733>
- Monique, B., Paul R, P., y Moshe, Z. (2005). *Handbook of Self-Regulation*. Academic Press. <https://login.ezproxy.unal.edu.co/login?url=https://search-ebscohost-com.ezproxy.unal.edu.co/login.aspx?direct=true&db=e000xww&AN=453754&lang=es&site=eds-live>
- Monzo, C., Cobo, G., Morán, J. A., Santamaría, E., y García-Solórzano, D. (2021). Remote Laboratory for Online Engineering Education: The RLAB-UOC-FPGA Case Study. *Electronics*, 10. <https://doi.org/10.3390/electronics10091072>
- Morelli, M., Chirumbolo, A., Baiocco, R., y Cattelino, E. (2022). Self-regulated learning self-efficacy, motivation, and intention to drop-out: The moderating role of friendships at University. *Current Psychology*, 42, 15589-15599. <https://doi.org/10.1007/S12144-022-02834-4/FIGURES/1>
- Morgan, F., O'Loughlin, D., Audiger, J., Boyer, Y., Timlin-Canning, N., Kępa, K., Cawley, S., Gallivan, I., Bakó, L., y Callaly, F. (2018). Vicilogic 2.0: Online Learning and Prototyping of Digital Systems Using PYNQ-Z1/-Z2 SoC. *2018 International Symposium on Rapid System Prototyping (RSP)*, 76-82. <https://doi.org/10.1109/RSP.2018.8631990>
- Morgan, F., Cawley, S., Callaly, F., Agnew, S., Rocke, P., O'Halloran, M., Drozd, N., Kępa, K., y McGinley, B. (2011). Remote FPGA Lab with Interactive Control and Visualisation Interface. *2011 21st International Conference on Field Programmable Logic and Applications*, 496-499. <https://doi.org/10.1109/FPL.2011.98>

- Moulay, T. A., Ernesto, F., Abdelmoula, A., Naima, T., y Abdessamad, M. (2021). Comparative Study of Traditional, Simulated and Real Online Remote Laboratory: Student's Perceptions in Technical Training of Electronics. *International Journal of Online and Biomedical Engineering*, 17, 33-48. <http://ezproxy.unal.edu.co/login?url=http://search.ebscohost.com/login.aspx?direct=true&db=edsdoj&AN=edsdoj.8ea33b55d0f4cd6928c1ff3eff89410&lang=es&site=eds-live>
- Navarro, D., Lucía, Ó., Barragán, L. A., Urriza, I., y Artigas, J. I. (2013). Teaching digital electronics courses using high-level synthesis tools. *2013 7th IEEE International Conference on e-Learning in Industrial Electronics (ICELIE)*, 43-47. <https://doi.org/10.1109/ICELIE.2013.6701269>
- Nelson, I., Ferreira, R., Nacif, J. A., y Jamieson, P. (2021). Is It Time to Include High-Level Synthesis Design in Digital System Education for Undergraduate Computer Engineers? *2021 IEEE International Symposium on Circuits and Systems (ISCAS)*, 1-5. <https://doi.org/10.1109/ISCAS51556.2021.9401774>
- Nicolás, A. M. B., y Ramos, P. R. (2020). La relación con los demás y la motivación en un Aprendizaje Basado en Proyectos. *Estudios pedagógicos (Valdivia)*, 46, 145-160. <https://doi.org/10.4067/S0718-07052020000100145>
- Oballe-Peinado, Ó., Castellanos-Ramos, J., Sánchez-Durán, J. A., Navas-González, R., Daza-Márquez, A., y Botín-Córdoba, J. A. (2020). FPGA-Based Remote Laboratory for Digital Electronics. *2020 XIV Technologies Applied to Electronics Teaching Conference (TAAE)*, 1-5. <https://doi.org/10.1109/TAAE46915.2020.9163676>
- Ong, Y. S., Grout, I., Lewis, E., y Mohammed, W. (2018). *Plastic Optical Fibre Sensor System Design Using the Field Programmable Gate Array*. <https://doi.org/10.5772/intechopen.71451>
- Orduna, P., Rodríguez-Gil, L., García-Zubia, J., Angulo, I., Hernandez, U., y Azcuenaga, E. (2016). Lab-Land: A sharing economy platform to promote educational remote laboratories maintainability, sustainability and adoption. *2016 IEEE Frontiers in Education Conference (FIE)*, 1-6. <https://doi.org/10.1109/FIE.2016.7757579>
- Öztek, H., y Gülbağ, A. (2022). Transfer of Analogies in Traditional Programming Languages to Teaching VHDL. *Sakarya University Journal of Computer and Information Sciences*, 5, 208-215. <https://doi.org/10.35377/saucis...1133435>
- Panadero, E. (2017). A review of self-regulated learning: Six models and four directions for research. *Frontiers in Psychology*, 8, 250270. <https://doi.org/10.3389/FPSYG.2017.00422/BIBTEX>
- Panadero, E., y Alonso-Tapia, J. (2014). ¿Cómo autorregulan nuestros alumnos? Revisión del modelo cíclico de Zimmerman sobre autorregulación del aprendizaje. *Anales de Psicología*, 30, 450-462. <https://doi.org/10.6018/analesps.30.2.167221>
- Paoloni, P. V. (2009). Contextos favorecedores para la motivación y el aprendizaje. Una propuesta innovadora para alumnos de Ingeniería. Contextos favorecedores de la motivación y el aprendizaje. Una propuesta innovadora para alumnos de Ingeniería. *Electronic Journal of Research in Educational Psychology*, 7, 953-984.
- Pérez-Villalobos, M. V., Cobo-Rendón, R. C., Sáez, F. M., Díaz-Mujica, A. E., Pérez-Villalobos, M. V., Cobo-Rendón, R. C., Sáez, F. M., y Díaz-Mujica, A. E. (2018). Revisión Sistemática de la Ha-

- bilidad de Autocontrol del Estudiante y su Rendimiento Académico en la Vida Universitaria. *Formación universitaria*, 11, 49-62. <https://doi.org/10.4067/S0718-50062018000300049>
- Petrescu, I., Păvăloiu, I.-B., y Drăgoi, G. (2015). Digital Logic Introduction Using FPGAs. *Procedia - Social and Behavioral Sciences*, 180, 1507-1513. <https://doi.org/10.1016/j.sbspro.2015.02.299>
- Phadke, A. S., y Kulkarni, S. S. (2017). A Pilot Study: Introducing HDL Lab Course for Effective Learning of Digital Design. *Proceedings - IEEE 8th International Conference on Technology for Education, T4E 2016*, 1-6. <https://doi.org/10.1109/T4E.2016.010>
- Pintrich, P. R., y Groot, E. V. D. (1990). Motivational and self-regulated learning components of classroom academic performance. *Journal of Educational Psychology*, 82, 33-40. <https://doi.org/10.1037/0022-0663.82.1.33>
- Pintrich, P. R., Smith, D. A. F., Garcia, T., y McKeachie, W. J. (1993). Reliability and Predictive Validity of the Motivated Strategies for Learning Questionnaire (Mslq). *Educational and Psychological Measurement*, 53, 801-813. <https://doi.org/10.1177/0013164493053003024>
- Post, L. S., Guo, P., Saab, N., y Admiraal, W. (2019). Effects of remote labs on cognitive, behavioral, and affective learning outcomes in higher education. *Computers and Education*, 140, 103596. <https://doi.org/10.1016/j.compedu.2019.103596>
- Ramirez-Echeverry, J. J. (2017, junio). *La competencia "aprender a aprender" en un contexto educativo de ingeniería* [Tesis doctoral, Universitat Politècnica de Catalunya]. Publicado por Universitat Politècnica de Catalunya. <https://doi.org/10.5821/dissertation-2117-110891>
- Ramirez-Echeverry, J. J., Carrillo, A. G., y Olarte, F. (2016). Adaptation and validation of the motivated strategies for learning questionnaire-MSLQ-in engineering students in Colombia. *International journal of engineering education*, 32, 1774-1787. <http://hdl.handle.net/2117/107554>
- Ramírez-Echeverry, J. J. (2019). UN ENFOQUE TEÓRICO PARA INTERPRETAR Y MEDIR LA HABILIDAD DE ADQUIRIR Y APLICAR NUEVO CONOCIMIENTO. *Encuentro Internacional de Educación en Ingeniería*. <https://doi.org/10.26507/ponencia.56>
- Redondo, R. E., y Martín, J. L. O. (2015). Motivation: The Road to Successful Learning. *PROFILE Issues in Teachers' Professional Development*, 17, 125-136. <https://doi.org/10.15446/profile.v17n2.50563>
- Reinsalu, U., y Ellervee, P. (2011). Experience in increase of practical hours for HDL course. *2011 IEEE International Conference on Microelectronic Systems Education*, 102-105. <https://doi.org/10.1109/MSE.2011.5937104>
- Rivera, J. H. (2016). Science-based laboratory comprehension: an examination of effective practices within traditional, online and blended learning environments. *Open Learning: The Journal of Open, Distance and e-Learning*, 31, 209-218. <https://doi.org/10.1080/02680513.2016.1208080>
- Rodriguez, F. A., Ramírez-Echeverry, J. J., y Restrepo-Calle, F. (2023). Integration of a hybrid laboratory for learning in digital electronics: an educational experience. *Proceedings of the 21th LACCEI International Multi-Conference for Engineering, Education and Technology (LACCEI 2023)*. <https://doi.org/10.18687/LACCEI2023.1.1.1292>

- Rodríguez, Á. P. A., y Arenas, D. A. M. (2016). Programas de intervención para Estudiantes Universitarios con bajo rendimiento académico. *Informes psicológicos*, 16, 13-34. <https://doi.org/10.18566/infpsicv16n1a01>
- Rodriguez-Gil, L., García-Zubia, J., Orduña, P., y López-de-Ipiña, D. (2017). Towards New Multiplatform Hybrid Online Laboratory Models. *IEEE Transactions on Learning Technologies*, 10, 318-330. <https://doi.org/10.1109/TLT.2016.2591953>
- Rodríguez-Rosero, D. D., Ordoñez-Ortega, R. E., e Hidalgo-Villota, M. E. (2021). Determinantes del rendimiento académico de la educación media en el Departamento de Nariño, Colombia. *Lecturas de Economía*, 87-126. <https://doi.org/http://doi.org/10.17533/udea.le.n94a341834>
- Saiz-Vela, A., Fontova, P., Palleja, T., Tresanchez, M., Garriga, J. A., y Roig, C. (2020). A low-cost development platform to design digital circuits on FPGAs using open-source software and hardware tools. *Proceedings - 2020 14th Technologies Applied to Electronics Teaching Conference, TAEE 2020*. <https://doi.org/10.1109/TAEE46915.2020.9163730>
- Schunk, D. H. (2005). Self-regulated learning: The educational legacy of Paul R. Pintrich. *Educational Psychologist*, 40, 85-94. https://doi.org/10.1207/S15326985EP4002_3
- Schwandt, A., y Winzker, M. (2019). Make it Open - Improving Usability and Availability of an FPGA Remote Lab. *2019 IEEE Global Engineering Education Conference (EDUCON)*, 232-236. <https://doi.org/10.1109/EDUCON.2019.8725098>
- Sengupta, A., y Ray, N. (2018). Audio and Video Technologies: Recent Advances in Consumer Electronics. *IEEE Consumer Electronics Magazine*, 7, 26-26. <https://doi.org/10.1109/MCE.2018.2835880>
- Siong, G. E., y Thow, V. S. (2017). The Effect of Using “Learning-By-Doing” Approach on Students’ Motivation in Learning Digital Electronics. *Proceeding of the 13th International CDIO Conference, Univ. Calgary, Canada*. http://upal.ita.chalmers.se/files/document/cdio2017/31/31_Final_PDF.pdf
- Solano, L. O. (2015, julio). *Rendimiento académico de los estudiantes de secundaria obligatoria y su relación con las aptitudes mentales y las actitudes ante el estudio* [Tesis doctoral, Universidad Nacional de Educación a Distancia (España)]. Universidad Nacional de Educación a Distancia (España). Facultad de Educación. Departamento de Métodos de Investigación y Diagnóstico en Educación II. <http://e-spacio.uned.es/fez/view/tesisuned:Educacion-Losolano>
- Solikhin, F., Sugiyarto, K., e Ikhsan, J. (2019). The Impact of Virtual Laboratory Integrated Into Hybrid Learning Use On Students’ Achievement. *Jurnal Ilmiah Peuradeun*, 7, 81-94. <https://doi.org/10.26811/peuradeun.v7i1.268>
- Son, J. Y. (2016). Comparing Physical, Virtual, and Hybrid Flipped Labs for General Education Biology. *Online Learning*, 20, 228-243. <http://ezproxy.unal.edu.co/login?url=http://search.ebscohost.com/login.aspx?direct=true&db=eric&AN=EJ1113358&lang=es&site=eds-live>
- Song, C., Wu, X., y Tao, Y. (2020). FPGA virtual platform based on systemc and verilog. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 768. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/768/7/072001>

- Steger, F., Nitsche, A., Arbesmeier, A., Brade, K. D., Schweiger, H.-G., y Belski, I. (2020). Teaching Battery Basics in Laboratories: Hands-On Versus Simulated Experiments. *IEEE Transactions on Education*, 63, 198-208. <https://doi.org/10.1109/TE.2020.2970554>
- Steinmayr, R., Weidinger, A. F., Schwinger, M., y Spinath, B. (2019). The importance of students' motivation for their academic achievement-replicating and extending previous findings. *Frontiers in Psychology*, 10, 464340. <https://doi.org/10.3389/FPSYG.2019.01730/BIBTEX>
- Szöße, M. (2022). Development of Hybrid Laboratory Sessions During the COVID-19 Pandemic. *AEE Journal*, 10, 80-100. <https://doi.org/10.18260/3-1-1153-36029>
- Terkowsky, C., May, D., Radtke, M., Ortelt, T., Haertel, T., y Schade, M. (2022). Is the Engineering Lab a Place to Foster Creativity? A Study on Students' Creative Achievements in a Conventional Forming Technology Lab. *2022 IEEE German Education Conference (GeCon)*, 1-7. <https://doi.org/10.1109/GeCon55699.2022.9942774>
- Thulin, M. (2021, noviembre). *Modern Statistics with R* (E. C. Press, Ed.).
- Touhafi, A., Braeken, A., Tahiri, A., y Zbakh, M. (2016). CoderLabs: A cloud based platform for real time online labs with user collaboration. *2016 2nd International Conference on Cloud Computing Technologies and Applications (CloudTech)*, 317-324. <https://doi.org/10.1109/CloudTech.2016.7847716>
- Toyoda, Y., Koike, N., y Li, Y. (2016). An FPGA-based remote laboratory: Implementing semi-automatic experiments in the hybrid cloud. *2016 13th International Conference on Remote Engineering and Virtual Instrumentation (REV)*, 24-29. <https://doi.org/10.1109/REV.2016.7444435>
- Valencia de Almeida, F., Hayashi, V. T., Arakaki, R., Midorikawa, E., de Mello Canovas, S., Cugnasca, P. S., y Corrêa, P. L. P. (2022). Teaching Digital Electronics during the COVID-19 Pandemic via a Remote Lab. *Sensors*, 22(18). <https://doi.org/10.3390/s22186944>
- Velosa, J. D. E. (2020). *Diseño de laboratorios híbridos para la enseñanza de ingeniería de manufactura*. <http://hdl.handle.net/10882/10110>
- Vemuru, S., Khorbotly, S., y Hassan, F. (2013). A spiral learning approach to hardware description languages. *Proceedings - IEEE International Symposium on Circuits and Systems*, 2759-2762. <https://doi.org/10.1109/ISCAS.2013.6572450>
- Viegas, C., Pavani, A., Lima, N., Marques, A., Pozzo, I., Dobboletta, E., Atencia, V., Barreto, D., Calliari, F., Fidalgo, A., Lima, D., Temporão, G., y Alves, G. (2018). Impact of a remote lab on teaching practices and student learning. *Computers and Education*, 126, 201-216. <https://doi.org/10.1016/j.compedu.2018.07.012>
- Villar-Martínez, A., Rodríguez-Gil, L., Angulo, I., Orduña, P., García-Zubía, J., y López-De-Ipiña, D. (2019). Improving the Scalability and Replicability of Embedded Systems Remote Laboratories Through a Cost-Effective Architecture. *IEEE Access*, 7, 164164-164185. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2019.2952321>
- Villarreal-Fernández, J. E., y Arroyave-Giraldo, D. I. (2022). Adaptación y validez de la escala de motivación del Motivated Scale Learning Questionnaire (MSLQ) en universitarios colombianos. *Electronic Journal of Research in Education Psychology*, 20, 119-150. <https://doi.org/10.25115/EJREP.V20I56.4394>

- Wei, J., Treagust, D. F., Mocerino, M., Lucey, A. D., Zadnik, M. G., y Lindsay, E. D. (2019). Understanding interactions in face-to-face and remote undergraduate science laboratories: a literature review. *Disciplinary and Interdisciplinary Science Education Research*, 1, 14. <https://doi.org/10.1186/s43031-019-0015-8>
- Winzker, M., Kiessling, R., Schwandt, A., Paez, C. S., y Shanab, S. A. (2018). Teaching Across the Ocean with Video Lectures and Remote-Lab. *2018 IEEE World Engineering Education Conference (EDUNINE)*, 1-4. <https://doi.org/10.1109/EDUNINE.2018.8451002>
- Winzker, M., y Schwandt, A. (2019). Open Education Teaching Unit for Low-Power Design and FPGA Image Processing. *2019 IEEE Frontiers in Education Conference (FIE)*, 1-9. <https://doi.org/10.1109/FIE43999.2019.9028694>
- Wolters, C. A. (2003). Regulation of Motivation: Evaluating an Underemphasized Aspect of Self-Regulated Learning. *Educational Psychologist*, 38, 189-205. http://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1207/S15326985EP3804_1
- Yuchao, G., Ninghan, Z., Chengbin, Q., y Shanshan, L. (2019). Research on Mixed Digital Logic Experiment Mode. *2019 14th International Conference on Computer Science and Education (ICCSE)*, 676-680. <https://doi.org/10.1109/ICCSE.2019.8845331>
- Zaldívar-Colado, A. (2019). Laboratorios reales versus laboratorios virtuales en las carreras de ciencias de la computación. *IE Revista de Investigación Educativa de la REDIECH*, 10, 9-22. https://doi.org/10.33010/ie_rie_rediech.v10i18.454
- Zapata-Rivera, L. F., Larrondo-Petrie, M. M., y Weinthal, C. P. (2019). Generation of Multiple Interfaces for Hybrid Online Laboratory Experiments based on Smart Laboratory Learning Objects. *2019 IEEE Frontiers in Education Conference (FIE)*, 1-8. <https://doi.org/10.1109/FIE43999.2019.9028421>
- Zhu, Y., y Howell, S. (2023). Independent and creative learning in a Digital Electronics course using a web-based circuit simulator. *Computer Applications in Engineering Education*, 31, 634-641. <https://doi.org/10.1002/cae.22605>