



IMPLEMENTACIÓN DEL CÓMPUTO FÍSICO COMO UN ENFOQUE INNOVADOR DE ENSEÑANZA DE LOS FUNDAMENTOS DE PROGRAMACIÓN

Implementation of the Physical Computing as an innovative approach to teaching the fundamentals
of applications programming

JUAN RIQUELME ODI ¹, CLAUDIA MARINA VICARIO SOLÓRZANO ², TERESA GUZMÁN FLORES ¹

¹ Universidad Autónoma de Querétaro, Querétaro, México

² Instituto Politécnico Nacional, Ciudad de México, México

KEY WORDS

*Computer Sciences
BBC Micro: Bit
Physical Computing
Fundamentals of
Applications Programming*

ABSTRACT

The teaching of applications programming is a complex activity by various factors ranging from teaching following traditional schemes to the need to memorize specific aspects of programming languages. Currently there is an approach known as Physical Computing to facilitate the learning of concepts related to computer sciences and the applications programming in an innovative way focusing on the creativity of the products generated. This research shows the results of the implementation of Physical Computing for teaching the fundamentals of applications programming through a seminar applied using the BBC Micro: Bit pocket-sized computer.

PALABRAS CLAVE

*Ciencias Computacionales
BBC Micro: Bit
Cómputo Físico
Fundamentos de
programación*

RESUMEN

La enseñanza de la programación de aplicaciones es una actividad compleja por diversos factores, que van desde la enseñanza siguiendo los esquemas tradicionales, hasta la necesidad de memorizar aspectos específicos de los lenguajes de programación. Actualmente existe un enfoque conocido como Cómputo Físico para facilitar el aprendizaje de conceptos relacionados con las Ciencias Computacionales y la programación de aplicaciones de una manera innovadora, enfocándose en la creatividad de los productos generados. Esta investigación muestra los resultados de la implementación del Cómputo Físico para la enseñanza de los fundamentos de programación mediante un seminario aplicado utilizando la tarjeta BBC Micro:Bit.

Recibido: 18/07/2019

Aceptado: 01/11/2019

1. Introducción: la dificultad de la enseñanza de la programación

El aprendizaje correcto de la programación es una tarea sumamente compleja, desde las primeras interacciones del estudiante con los lenguajes de la programación hasta la realización de códigos complejos y la depuración del mismo programa para encontrar errores que pueden ser de sintaxis y gramática, así como de lógica en el código generado por el estudiante.

La dificultad se contextualiza en diferentes ámbitos y es provocada por diferentes factores, considerando que se requieren diversas habilidades y muchas horas prácticas para obtener la experiencia adecuada para considerar haber aprendido a programar correctamente. Desde situaciones tan simples como comprender el uso del entorno de desarrollo integrado, crear un archivo y compilarlo, ejecutar el programa y posteriormente llevar a la práctica la ejecución de pruebas y corrección de errores como actividades de depuración del programa generado (Jenkins, 2002: 55-56).

También, los estudiantes que están iniciando las asignaturas relacionadas con la programación, tienden a perder la emoción y el entusiasmo rápidamente, ya que generalmente para la enseñanza de la programación se suelen ocupar métodos tradicionales para la enseñanza-aprendizaje en donde se sigue un esquema tradicional de enseñanza, es decir, el maestro es la fuente de conocimiento que se encarga de transmitirlo a los alumnos; sin enfatizar alguna estrategia constructivista o innovadora para la enseñanza, incluso utilizando solamente exámenes teóricos cuando la programación debe aprenderse en mayor medida con la práctica y el desarrollo de las aplicaciones, considerando también otros aspectos esenciales:

- Se requieren diferentes habilidades además de memorizar los comandos o sentencias, pues se debe contemplar la sintaxis y la semántica del lenguaje, así como el estilo de programación y el tipo de programación que se está enseñando (estructurada, orientada a objetos, paradigma funcional, etc.).
- En el alumno puede surgir una falta de interés si no es motivado el aprendizaje de los fundamentos de la programación, más que a la memorización de la sintaxis de un lenguaje en particular.
- El lenguaje de programación juega un papel crucial en el aprendizaje correcto de la programación, pues muchos cursos se enfocan más en la enseñanza de un lenguaje en específico que en la resolución de problemas mediante la generación de aplicaciones.

En la literatura consultada, (Isong, 2014: 15-18), (Lahtinen, Ala-Mutka, & Järvinen, 2005: 15-17), (Vera, 2017: 149-184), se pueden apreciar algunos factores que repercuten en el aprendizaje efectivo del aprendizaje de los fundamentos de la programación, contemplando factores difíciles para los estudiantes, el comprender al programa como una entidad global y no solo el aprendizaje de componentes individuales, la división de un código en general en procedimientos o funciones para facilitar la detección de errores, el uso de problemas reales contextualizados para ser resueltos por la aplicación que será generada, y la comprensión correcta de las estructuras de programación y estructuras de datos en la aplicación a generar.

Es debido a este tipo de situaciones que han surgido tanto iniciativas, como herramientas tecnológicas que han permitido facilitar el proceso de la enseñanza de la programación de aplicaciones, y con esto buscar un aprendizaje efectivo por los estudiantes en el desarrollo de aplicaciones que servirán tanto para sus estudios, como para su aplicación en el campo profesional al momento de ingresar al mercado laboral.

1.1. La enseñanza de la programación

Una primera aproximación para facilitar el aprendizaje de los fundamentos de la programación se da a través de las iniciativas y organizaciones que buscan que las personas tengan una aproximación a la programación por diferentes medios y formas, como es el caso de las que a continuación se mencionan:

- Code.org, la cual es una organización fundada en el año 2012 que tiene la finalidad de que todas las personas de cualquier edad puedan al menos participar una vez en su vida en la programación mediante el movimiento global "Hora del código".
- Programamos.es, que es una asociación sin lucro de por medio que promueve el desarrollo computacional en los individuos mediante la programación de aplicaciones móviles y de videojuegos (Fuentes Pérez, 2017: 3-4).

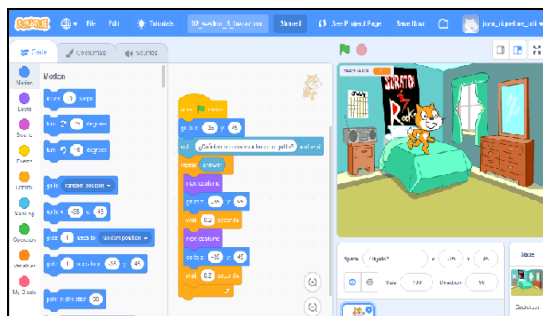
Además de las iniciativas y organizaciones se han desarrollado herramientas tecnológicas con la finalidad de facilitar el aprendizaje de la programación, principalmente en el aprendizaje de un lenguaje específico con sus reglas de sintaxis y gramática, como las que se indican a continuación:

- Scratch, el cual fue generado en el laboratorio de medios del MIT generando un entorno de programación de aplicaciones para que pudiera ser utilizado por cualquier persona, sin importar su edad ni sus conocimientos previos, enfatizando la creatividad en la programación utilizando programación

un lenguaje específico con sus reglas de sintaxis y gramática, como las que se indican a continuación:

- Scratch, el cual fue generado en el laboratorio de medios del MIT generando un entorno de programación de aplicaciones para que pudiera ser utilizado por cualquier persona, sin importar su edad ni sus conocimientos previos, enfatizando la creatividad en la programación utilizando programación orientada a bloques (Vidal, Cabezas, Parra, & López, 2015: 25–26).
- Snap!, el cual retoma los principios de Scratch para el aprendizaje de la programación sin tener conocimientos previos y eliminando dificultades respecto a la sintaxis y la semántica de un lenguaje de programación convencional. Este entorno de programación basado en bloques permite crear bloques propios, definir procedimientos y crear estructuras de control personalizadas (Gee, 2015: 1–3).
- Google Blockly, siendo una librería que permite compilar códigos y facilitar el aprendizaje de la programación de una manera sencilla y amigable para la generación de código Web, utilizando un paradigma basado en bloques. Además permite convertir los programas generados en bloques, hacia su representación textual como JavaScript, PHP, Python, Dart y Lua (Black, 2012: 1–5).

Figura 1. El entorno de programación Scratch.



Fuente: Elaboración propia, 2019.

Además de las iniciativas, organizaciones y entornos de programación para facilitar el aprendizaje de los fundamentos de la programación, actualmente han surgido enfoques y tendencias apoyados por un auge en el desarrollo de la electrónica en todos los medios, y uno de estos enfoques es conocido con el nombre del Cómputo Físico.

1.2. El Cómputo Físico

El Cómputo Físico es definido como un alcance que tiene como finalidad que los individuos mejoren su

aprendizaje relacionado con las Ciencias Computacionales, acerca del cómo las personas pueden comunicarse mejor con los equipos de cómputo utilizando un entorno físico de comunicación para esto, buscando una interacción física del individuo con la computadora y no solamente viéndola como una caja negra con la cual no existe interacción, permitiendo además la manipulación del hardware del dispositivo (Igoe, 2004: 1–4).

Además de esto, se busca que las personas incluyan la construcción de sistemas físicos que sean interactivos, buscando una vinculación entre el hardware y el software que responda al mundo real (mediante la utilización de actuadores y sensores), y no solo la programación de entornos virtuales o elementos abstractos como lo sería en una enseñanza tradicional de la programación de aplicaciones.

El Cómputo Físico tiene una fuerte base educativa conocida como el Construccionismo, en el cual se busca que las personas se enfoquen más en el aprendizaje mediante la construcción de artefactos que son generados por ellos mismos, en este caso estos artefactos serían los componentes físicos permitiendo un traslado de ideas abstractas hacia medios tangibles los cuales pueden ser compartidos y promovidos como productos resultantes de un proceso de pensamiento (Ackermann, 2001: 4–5).

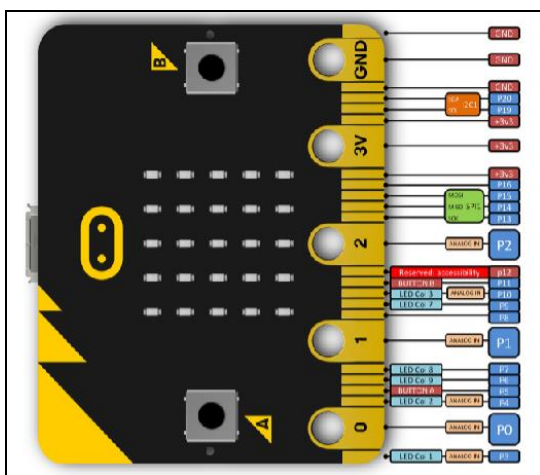
Actualmente existen dispositivos muy populares tanto en la comunidad académica como en los usuarios que desean adentrarse en el aprendizaje de la programación mediante componentes electrónicos. Algunos de los dispositivos más utilizados actualmente son:

- Arduino, que es una plataforma electrónica de fuente abierta que permite programar entradas y salidas de datos (leer sensores, activar motores, comunicarse con otros dispositivos, etc.). Su origen buscó generar una herramienta de prototipado rápido para ser utilizado por estudiantes sin tener conocimientos amplios en programación y electrónica, siendo dispositivos de bajo costo y de una arquitectura abierta tanto a nivel de hardware como de software (Arduino, 2017: 1–3).
- Raspberry Pi, la cual es una mini-computadora con un origen en Reino Unido, la cual puede utilizarse conectándola a una televisión o monitor y que permite la conexión con teclado y ratón, con un énfasis en los lenguajes de programación como son Scratch y Python. Con este dispositivo se busca que las personas interactúen con el mundo exterior en un enfoque de Cómputo Físico, y lo utilicen en diversos proyectos con la finalidad de promover el aprendizaje de la

programación y la comprensión de cómo funcionan las computadoras (Raspberry Pi Foundation, 2012-2017: 1-2)

Además de estos dos dispositivos, desde el año 2016 ha aparecido una tarjeta programable llamada BBC Micro:Bit, la cual cuenta con una serie de características específicas que facilitan su programación y utilización a los estudiantes, buscando promover la creatividad en los usuarios mediante el uso de la tecnología y permitiendo con esto generar programas sencillos en poco tiempo, motivando la imaginación y creatividad de los estudiantes.

Figura 2. La tarjeta programable BBC Micro:Bit.



Fuente: Halfacree, 2018.

Este dispositivo ha sido utilizado con bastante éxito en Reino Unido por los estudiantes, pues el gobierno ha obsequiado un millón de dispositivos en Inglaterra, Escocia, Irlanda del Norte y Wales. El gobierno inglés ha promovido su utilización de manera integral pues ha integrado la tarjeta en la currícula de los planes de estudio en todas las escuelas de Reino Unido, buscando promover el aprendizaje de las Ciencias Computacionales para promover estos conocimientos en sus futuros egresados (BBC, 2017: 1).

Se han llevado a cabo investigaciones sobre la apropiación de los estudiantes con el uso de la tarjeta BBC Micro:Bit en su práctica educativa, así como las características propias del Cómputo Físico, como se manifiesta en la literatura consultada, (BBC, 2017: 2-5), (Sentance, Waite, Hodges, MacLeod, & Yeomans, 2017: 3-6), obteniendo resultados en los usuarios del dispositivo tales como que la mayoría de las personas piensa que cualquier persona puede aprender a programar utilizando el dispositivo, que el aprendizaje de la programación se facilita en gran medida, que el dispositivo ayuda a enseñar de una forma práctica y sencilla los conceptos de la programación de aplicaciones, que cualquier persona puede programar sin tener una gran cantidad de

conocimientos previos de esta disciplina, se promueve el concepto de “real” y “físico” sobre los artefactos obtenidos, y que se promueve la creatividad además de promover la interacción y el trabajo colaborativo al utilizar el dispositivo por los estudiantes.

Como parte del proceso de investigación que fue llevado a cabo para promover el aprendizaje de los fundamentos de la programación, se llevó a cabo la implementación de un seminario a nivel universitario, utilizando la tarjeta BBC Micro:Bit como herramienta de Cómputo Físico, buscando promover en los estudiantes un correcto aprendizaje de los elementos esenciales de los fundamentos de la programación.

2. Método de intervención del seminario

La investigación tenía el objetivo fundamental de diseñar e instrumentar una estrategia didáctica para favorecer el aprendizaje de los fundamentos de la programación utilizando el enfoque del Cómputo Físico mediante la utilización de la tarjeta BBC Micro:Bit como herramienta tecnológica. Teniendo en mente este objetivo es como se generó este seminario.

La forma de verificar este objetivo fue mediante la creación de un seminario que enseñara los fundamentos de la programación, utilizando la tarjeta BBC Micro:Bit como herramienta, y con ello dar los conocimientos necesarios a los estudiantes que participaran en este seminario. La forma de llevarlo a cabo fue la siguiente:

1. Se analizaron los contenidos de la asignatura “Programación Avanzada”, correspondiente al 3er Semestre de la “Ingeniería en Automatización” en la facultad de Ingeniería de la Universidad Autónoma de Querétaro, revisando la literatura correspondiente (Universidad Autónoma de Querétaro, 2017: 3-5).
2. Se determinaron los conocimientos requeridos en dicha asignatura para vincular estos conocimientos con los que se podrían generar utilizando la tarjeta BBC Micro:Bit.
3. Utilizando el sistema multimodal de educación a distancia, de la Dirección de Educación a Distancia e Investigación Educativa de la Universidad Autónoma de Querétaro se generaron los contenidos en línea para el seminario, pues el mismo fue llevado en una modalidad combinada entre sesiones presenciales y contenido en línea disponible para los estudiantes (Guzmán, 2016: 43-56).
4. Se aplicó un pretest al inicio del seminario, para obtener el grado de conocimientos

que poseían los estudiantes antes del proceso de intervención.

5. Se llevaron a cabo sesiones presenciales del seminario, impartiendo un total de 3 horas por semana, durante 3 semanas, con sesiones teórico-prácticas utilizando el dispositivo.
6. A la par de esto, los alumnos tenían a su disposición el contenido de las sesiones, más algunas actividades complementarias, disponibles en una plataforma en línea para su acceso en cualquier momento.
7. Al finalizar el seminario se aplicó un postest como mecanismo de verificación del conocimiento adquirido por los estudiantes, así como un test Likert de escala de actitud para analizar la percepción que tuvieron los estudiantes de los conocimientos del seminario, así como su percepción con el uso del Cómputo Físico, y la tarjeta BBC Micro:Bit.

La investigación ocupó un modelo mixto respecto a su base metodológica para el análisis de información, buscando explicar el fenómeno desde ambas perspectivas (cualitativa y cuantitativa) complementando los hallazgos desde ambos puntos de vista para justificar los resultados obtenidos, además se fundamentó en la base metodológica de Investigación Basada en el Diseño para obtener un producto de carácter tecnológico (específicamente un producto tecno-pedagógico) que fue concretado mediante la aplicación de este producto en un seminario para la enseñanza de los fundamentos de la programación (Hevner, March, Park, & Ram, 2004: 76-81).

2.1. Los sujetos participantes

Los sujetos participantes en la investigación fueron estudiantes de nivel universitario, los cuales pertenecían al 3er. semestre de la Licenciatura en Ingeniería en Automatización, en la Facultad de Ingeniería de la Universidad Autónoma de Querétaro. De forma específica el seminario fue impartido durante la asignatura "Programación Avanzada" correspondiente a dicha licenciatura. Hubo un total de 17 participantes durante todo el seminario.

En esta asignatura los estudiantes cursan contenidos directos de la programación de aplicaciones, ya que utilizan un lenguaje de programación específico (C++) como una herramienta de programación de aplicaciones, y posteriormente como un mecanismo de programación de dispositivos electrónicos para la obtención de señales, pues el perfil de la licenciatura va encaminado hacia soluciones de automatización con componentes electrónicos y mecánicos. Algunas características relacionadas con

los fundamentos de la programación de los estudiantes son las siguientes:

- Sexo: 14 hombres y 3 mujeres.
- Conocimientos de programación: 14 participantes con conocimientos previos, 3 participantes sin conocimientos previos.
- Lenguajes de programación conocidos: C++ con 10 participantes, C con 5 sujetos, Python con 3 sujetos, Java con 1 sujeto y PHP con 1 sujeto.

Con respecto a los datos obtenidos de los participantes se pudo apreciar que, aunque algunos tenían conocimientos de lenguajes de programación y desarrollo de aplicaciones, no todos habían demostrado un dominio de las estructuras básicas y los conceptos de los fundamentos de la programación, ni un conocimiento de la tarjeta BBC Micro:Bit.

Aunado a esto, no todos los participantes tenían conocimientos de los componentes electrónicos más comunes en su licenciatura como lo son los Diodos Emisores de Luz (LEDs), servomotores, potenciómetros, etc. También desconocían los entornos de programación basados en bloques y solamente algunos demostraron tener un conocimiento del lenguaje de programación Python y C++ como mecanismos para el desarrollo de aplicaciones.

2.2. Construcción de materiales digitales

Los materiales del seminario fueron generados siguiendo el modelo del sistema multimodal de educación de la Universidad Autónoma de Querétaro (Guzmán, 2016: 43-56), específicamente utilizando el modelo ADDIE como medio de diseño instruccional para la gestión de contenidos que fueron ubicados en una plataforma de educación a distancia. De manera específica los contenidos se ubicaban en la plataforma en línea para que los participantes tuvieran acceso a los contenidos aparte de recibir instrucción presencial en las sesiones indicadas anteriormente.

El seminario contempló un total de 9 unidades, cada una vinculada con las dos primeras unidades de la asignatura de "Programación Avanzada" (1. Introducción a la programación en C++, 2. Programación orientada a objetos), siendo las unidades totales del seminario las que se especifican a continuación:

Tabla 1. Unidades aplicadas en el seminario

Unidad	Contenido
1)	Introducción a la tarjeta BBC Micro:Bit
2)	Estructuras de decisión
3)	Estructuras iterativas
4)	Sensores
5)	Introducción a Python
6)	Programación orientada a objetos
7)	Radiofrecuencia

8)	Proyecto físico
9)	Proyecto final

Fuente: Elaboración propia, 2019.

Para identificar los contenidos del seminario se consultó la literatura relacionada con tópicos vinculados con los fundamentos de la programación (Aguilar, 2008: 83-199), (Norton, 2006: 498-535), (Pressman, 2010, pp. 25-54), (Zapata, 2013: 52-210), contenidos relacionados con la tarjeta BBC Micro:Bit (Halfacree, 2018: 51-86), (Monk, 2018: 90-101), así como contenidos relacionados con el Cómputo Físico (Platt, 2009: 39-59), (O’Sullivan & Igoe, 2004: 13-21).

El proceso de desarrollo de los contenidos fue utilizando el modelo ADDIE, el cual sigue una serie de fases secuenciales para la gestión de los contenidos a obtener, siguiendo un flujo lineal y secuencial (análisis, diseño, desarrollo, implementación y evaluación) retomando las guías apropiadas para llevar a buen término la construcción de los materiales siguiendo este modelo (Arshavskiy, 2014: 13-14).

Figura 3. Las fases del modelo ADDIE.



Fuente: Adaptado de Arshavskiy, 2014.

La utilización del modelo ADDIE viene indicado por el proceso de desarrollo de contenidos digitales propuesto por el sistema multimodal de educación seguido por la Dirección de Educación a Distancia e Investigación Educativa de la Universidad Autónoma de Querétaro (Guzmán, 2016: 43-56). Cada una de las fases del modelo ADDIE es ejecutada por tres células operativas de la Dirección de Educación a Distancia, específicamente realizando las siguientes actividades:

- Célula didáctica.- Donde se llevan a cabo actividades relacionadas con el acompañamiento de los profesores en la generación de contenidos digitales, diseño general de la estructura de los contenidos y del seminario, así como el aseguramiento de la calidad de los contenidos producidos. Se vincula con las fases de análisis, diseño y evaluación de ADDIE.
- Célula multimedia.- Aquí se efectúan actividades relacionadas con el análisis de los requerimientos multimedia, así como la producción de materiales multimedia (audio,

video, imágenes, etc.). Está vinculada con las fases de diseño y desarrollo en ADDIE.

- Célula de producción.- En esta célula se ejecutan actividades vinculadas con el desarrollo de los contenidos digitales, verificación de la calidad de los contenidos producidos, así como la generación de la estructura de cada curso. Esta célula se vincula con las fases de diseño, desarrollo en implementación de ADDIE.

Figura 4. Contenido digital ubicado en la plataforma de educación a distancia.



Fuente: Elaboración propia, 2019.

La especificación de construcción de los contenidos concluye con la ubicación de los mismos en un Sistema de Gestión del Aprendizaje (Learning Management System), donde los participantes fueron inscritos para que tuvieran acceso a los contenidos digitales para su visualización y estudio fuera de las horas presenciales del mismo seminario.

2.3. Instrumentos de recolección de datos

Los primeros instrumentos generados y utilizados en la investigación fueron los cuestionarios pretest y postest, los cuales tuvieron la función de verificar el conocimiento adquirido por los participantes después de completar el seminario con una participación en el mismo. Estos instrumentos fueron construidos siguiendo un esquema de reactivos de opción múltiple, donde los participantes debían elegir la respuesta correcta que se presentaba sobre diferentes sentencias relacionadas con diferentes contenidos vinculados con los fundamentos de la programación, así como con componentes electrónicos.

Los reactivos de ambos instrumentos se retomaron de diferentes autores, con contenidos enfocados hacia los fundamentos de la programación y el Cómputo Físico (Aguilar, 2008: 83-199), (Norton, 2006: 498-535), (Zapata, 2013: 52-210), (Rubio, Mañoso, & Pérez, 2013: 5128-5131), y los conocimientos considerados a incluirse en ambas pruebas incluían conocimientos

relacionados con las estructuras secuenciales, estructuras de iteración, estructuras de decisión, variables, constantes, operadores en programación, fundamentos de programación orientada a objetos, así como componentes electrónicos como mecanismo de conocimiento del Cómputo Físico.

El pretest fue aplicado antes de la impartición del seminario, y el postest al finalizar la aplicación del mismo, los cuales tenían una escala de puntuación del 0 al 100 (del valor más bajo al valor más alto). El instrumento fue aplicado a un total de 17 participantes del seminario, y para asegurar la confiabilidad de ambos instrumentos se aplicó la prueba de Alfa de Cronbach, utilizando SPSS, Minitab y Microsoft Excel, y obteniendo un valor de 0.7131 lo cual se considera un valor aceptable para una prueba piloto de estos instrumentos. De igual forma se aplicó la prueba KR-20 (de igual forma validada con SPSS y Microsoft Excel) obteniendo un valor de 0.7315 en los instrumentos.

También para verificar que hubiera un incremento en el aprendizaje de los participantes después de haber asistido al seminario se utilizó la prueba T de Student validada mediante SPSS, Minitab y Microsoft Excel, en la cual considerando un intervalo de confianza del 95% se obtuvo un valor de 0.0011 verificando la hipótesis de que si hubo un incremento en el aprendizaje en los participantes del seminario.

En la investigación también se aplicó un cuestionario con Escalamiento Likert para obtener la percepción del seminario, los contenidos teóricos del mismo y la forma en que se percibieron los contenidos ubicados en la plataforma de enseñanza sobre su utilización en el seminario. Este instrumento fue retomado considerando reactivos de una aplicación similar con el uso de herramientas del Cómputo Físico en un curso con características similares (Rubio et al., 2013: 5130–5132).

El cuestionario con Escalamiento Likert contenía respuestas con valores que iban desde el número 5 (completamente de acuerdo) hasta valores con el número 1 (completamente en desacuerdo), siendo aplicado este cuestionario al finalizar de impartir el seminario, y contemplaba categorías tales como componentes electrónicos, fundamentos de la programación, entornos de desarrollo (Blocks Editor, Python), y la misma percepción del seminario. Este instrumento fue validado para su confiabilidad ocupando la prueba de Alfa de Cronbach, utilizando SPSS, Minitab y Microsoft Excel para su estimación y se obtuvo un valor de 0.9410, lo cual confirma que el instrumento dispone de confiabilidad.

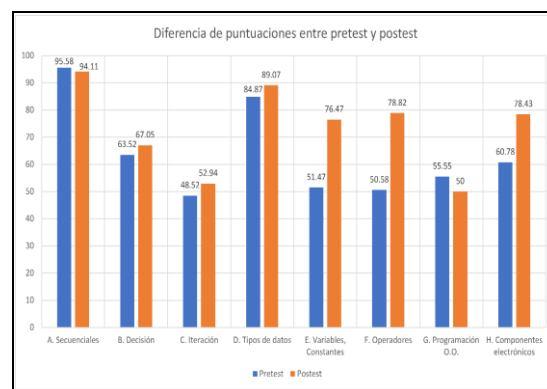
3. Resultados de la aplicación del seminario

Tras la aplicación del seminario se obtuvieron resultados que demuestran un incremento en el aprendizaje de los participantes del mismo, enfocado hacia los fundamentos de la programación, así como de los componentes electrónicos, y también el uso del Escalamiento Likert permitió detectar que hubo una percepción positiva del mismo seminario en su aplicación para la enseñanza de los fundamentos de la programación. Se presenta a continuación los resultados obtenidos de los instrumentos, así como una serie de proyectos derivados que se pueden construir utilizando la tarjeta BBC Micro:Bit como herramienta tecnológica.

3.1. Resultados de la investigación

Los resultados obtenidos entre el pretest y postest permitieron identificar un incremento en el conocimiento de los fundamentos de la programación y de componentes electrónicos en los participantes, pues considerando una escala del 0 al 100 el promedio general del pretest fue de 63.65 puntos y del postest de 74.81 puntos, identificando un incremento positivo de 11.16 puntos entre ambos instrumentos, confirmando con esto el incremento del conocimiento de los participantes. Los resultados para cada una de las categorías contempladas en ambos instrumentos son los siguientes:

Figura 5. Diferencia de puntuaciones obtenidas entre el pretest y el postest.



Fuente: Elaboración propia, 2019.

Las tres categorías que tuvieron un mayor incremento sobre las puntuaciones obtenidas fueron la de variables y constantes con un incremento de 25 puntos, operadores en programación con un incremento de 28.23 puntos, y la categoría de componentes electrónicos con un incremento de 17.64 puntos. Con esto se logra clarificar algunos conceptos que son claves en el aprendizaje de los fundamentos de la programación y que van encaminados hacia temas abstractos que son de difícil enseñanza en el aula.

Los resultados obtenidos con el uso del Escalamiento Likert para la escala de actitud enfocado hacia diferentes categorías que iban desde los fundamentos de la programación, la tarjeta BBC Micro:Bit, componentes electrónicos, los entornos de desarrollo y la misma percepción del seminario, recordando que este Escalamiento Likert contemplaba valores desde el número 5 (completamente de acuerdo) hasta el número 1 (completamente en desacuerdo) son los siguientes:

Tabla 2. Promedios obtenidos del cuestionario con Escalamiento Likert

Categoría	Promedio
A. Fundamentos de programación	4.37 puntos
B. Componentes electrónicos	4.28 puntos
C. La tarjeta BBC Micro:Bit	4.36 puntos
D. Entornos de desarrollo	3.74 puntos
E. Percepción del seminario	4.25 puntos

Fuente: Elaboración propia, 2019.

En los resultados anteriores se puede apreciar que hubo percepciones bastante cercanas al valor máximo, obteniendo promedios con un valor de 4 (de acuerdo) identificando percepciones positivas hacia cada una de las categorías identificadas en el Escalamiento Likert, que incluían factores tales desde el cómo se enseñaron los fundamentos de la programación, el uso de componentes electrónicos, la misma percepción de la tarjeta BBC Micro:Bit, los entornos de desarrollo utilizados durante las sesiones del seminario, así como la percepción misma del seminario en su modalidad presencial y el acceso a los contenidos en línea del mismo.

3.2. Discusión de resultados

La especificación de la dificultad de la enseñanza de los conocimientos requeridos en la programación de aplicaciones se identifica que el estudiante empezará a desarrollar programas requiriendo diferentes enfoques competenciales como lo son conocimientos, habilidades y disciplina (Pérez Calderón, 2008: 230-232) además de que en diversos entornos de enseñanza se siguen ocupando los métodos tradicionales (sin cambio alguno) a pesar de que los entornos de desarrollo y las herramientas tecnológicas han cambiado con el paso del tiempo (Gottfried, 1997: 1-5). En la investigación realizada queda demostrado que el uso del *Cómputo Físico* es una estrategia adecuada para la enseñanza de las Ciencias Computacionales y la programación de aplicaciones, al obtener un incremento de 11.16 puntos en general entre el pre-test y el post-test, demostrando que si hubo una adquisición de conocimiento adecuado por los mismos participantes.

Algunos de los aspectos más complejos en el aprendizaje de la programación es la conceptualización de elementos difíciles como son

los arreglos, la programación orientada a objetos y el uso de las estructuras de programación en general (Butler & Morgan, 2007: 99-101), y en los resultados específicos obtenidos por los estudiantes participantes en este seminario queda al descubierto que hubo incrementos significativos en varias áreas de evaluación, específicamente en el tema de variables y constantes (con un incremento de 25 puntos), los operadores en programación (con un incremento de 28.23 puntos) y también con el uso de las estructuras de decisión (con un incremento de 3.53 puntos) y las estructuras de iteración (incrementando 4.42 puntos) así como los tipos de datos (estructuras de datos) en la programación de aplicaciones (con un incremento de 4.2 puntos).

Lo anterior manifiesta que la estrategia utilizada permite comprender temas de difícil comprensión y que suelen ser abstractos por su naturaleza, dejando al descubierto que el uso del *Cómputo Físico*, con un buen fundamento pedagógico, y utilizando una herramienta tecnológica adecuada, permite comprender de una forma innovadora, creativa y de manera alternativa este tipo de conocimientos que resultan ser complejos en su asimilación bajo los mecanismos tradicionales de enseñanza.

El uso de la tecnología en los procesos de enseñanza, y específicamente la instrucción asistida por tecnologías no siempre es la estrategia más adecuada para la enseñanza de los conocimientos de las Ciencias Computacionales y la enseñanza de la programación de aplicaciones (Zapata-Ros, 2015: 2-8) pero en esta investigación, debido a la fundamentación pedagógica utilizada, en conjunto con el uso del enfoque del *Cómputo Físico*, la implementación del seminario manifestó ser una estrategia adecuada para la enseñanza de este tipo de conocimientos, y queda expresado a través de los resultados del Escalamiento Likert al obtener un promedio de 4.25 puntos sobre la misma percepción del seminario, quedando demostrado con esto que para los participantes la estrategia fue adecuada, además de obtener un promedio de 4.37 puntos sobre los mecanismos utilizados para la enseñanza de los fundamentos de la programación, corroborando con esto que el seminario fue adecuado para los estudiantes sobre la enseñanza de la programación de aplicaciones.

De igual forma la tarjeta BBC Micro:Bit tuvo una percepción positiva en los participantes con un promedio de 4.36 puntos sobre la percepción de los estudiantes en el Escalamiento Likert, compartiendo resultados similares con otras investigaciones realizadas en el uso del dispositivo (BBC, 2017: 2-5), (Sentance et al., 2017: 3-6) destacando factores como la facilidad de uso del dispositivo, la "tangibilidad" del mismo, impulso de la creatividad en el usuario y el permitir gestionar los conocimientos de la programación de aplicaciones de una manera sencilla. Lo anterior

manifiesta la elección realizada sobre el uso de la herramienta BBC Micro:Bit como herramienta tecnológica, y queda confirmada dicha elección por los puntajes obtenidos en el Escalamiento Likert bajo la percepción de los estudiantes.

3.3. Proyectos derivados utilizando la tarjeta BBC Micro:Bit

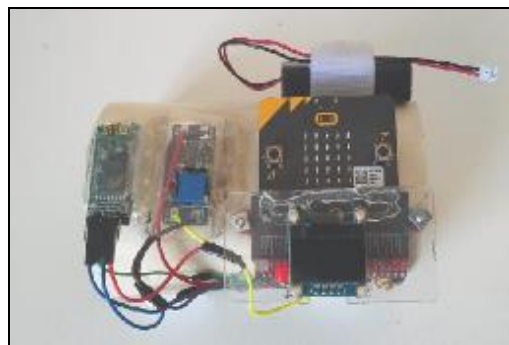
Tras la impartición del seminario con un esquema piloto de investigación, se identificaron varias prácticas y productos tecnológicos que pueden ser construidos utilizando la tarjeta BBC Micro:Bit como proyectos finales, los cuales permiten ocupar varias características del dispositivo para generar proyectos únicos e innovadores promoviendo la creatividad en los estudiantes al momento de desarrollarlos. Los siguientes proyectos que fueron generados utilizan componentes electrónicos de fácil adquisición en tiendas de electrónica (pues la mayoría son adaptaciones de sensores y actuadores para la tarjeta Arduino) y no son complicados en su construcción y programación. Los códigos, diagramas y el listado de componentes electrónicos para los proyectos que se expondrán a continuación pueden ser descargados gratuitamente desde el siguiente enlace:

- http://smartrobotandroid.000webhostapp.com/proyectos_microbit/

El primer proyecto es un reloj inteligente, el cual mediante el enlace entre la tarjeta BBC Micro:Bit y un teléfono inteligente Android utilizando el protocolo Bluetooth permite obtener la fecha y la hora, la temperatura, obtener información de llamadas en curso, llamadas perdidas y mensajes SMS los cuales son mostrados en la pantalla OLED como si fuera un reloj inteligente de fácil construcción. Para enlazar la tarjeta BBC Micro:Bit y el dispositivo Android se requiere instalar la aplicación “Reloj Inteligente para tarjeta programable” en el móvil con Android, dicha aplicación es gratuita y puede ser descargada del siguiente enlace:

- <https://play.google.com/store/apps/details?id=com.bluetoothmb.smartrobot>

Figura 6. Proyecto de reloj inteligente con la tarjeta BBC Micro:Bit.

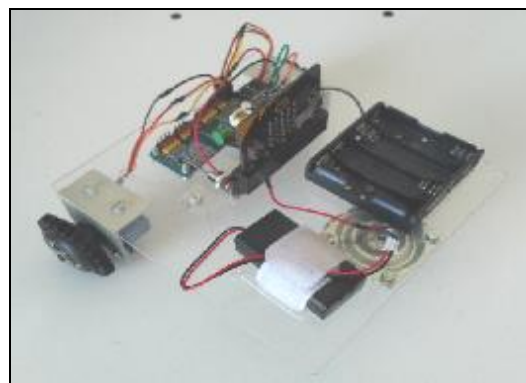


Fuente: Elaboración propia, 2019.

Este proyecto permite aprender conceptos básicos de programación al utilizar bloques secuenciales, de decisión e iteración para la programación de la tarjeta, y además se utilizan protocolos de comunicación entre los dispositivos, específicamente el protocolo “Serial” así como el protocolo “I2C” para la comunicación entre los dispositivos que conforman el reloj inteligente.

El segundo proyecto generado es un pequeño robot que es manipulado a través de señales de radiofrecuencia entre dos tarjetas BBC Micro:Bit, permitiendo operar a distancias de hasta 35 metros entre el emisor y el receptor sin fallas de señal, pudiendo avanzar el robot hacia adelante y hacia atrás, permitiendo giros hacia la izquierda y hacia la derecha (en ambas formas de movimiento).

Figura 7. Proyecto de robot manipulado por la tarjeta.



Fuente: Elaboración propia, 2019.

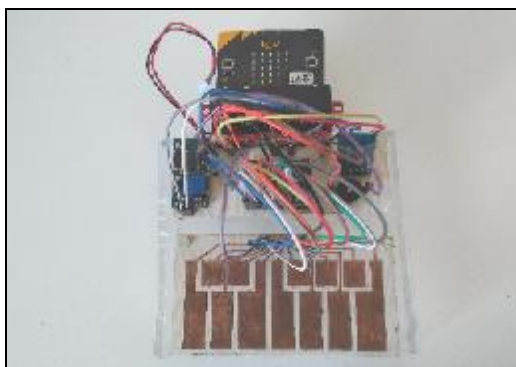
Con la construcción de este pequeño robot se desarrollan conocimientos sobre estructuras de programación secuenciales, de decisión e iteración, además del manejo de variables como elementos de la programación de aplicaciones. Este robot hace uso de varias características que dispone la tarjeta BBC Micro:Bit. Primero el uso de los bloques de programación de radiofrecuencia, y segundo la manipulación de servomotores de giro continuo, además del uso del sensor del “acelerómetro” que se encuentra de manera interna en la tarjeta para hacer los movimientos del robot mediante la

inclinación de la tarjeta hacia la izquierda o hacia la derecha.

El último proyecto generado consiste en una pequeña caja de música, la cual permite manipular varias entradas en la tarjeta BBC Micro:Bit y con ello reproducir sonidos como si fuera un pequeño piano electrónico, el cual puede vincularse también con un dispositivo Android para la generación de melodías. La aplicación para enlazar el dispositivo Android con la caja de música se llama “Caja Musical para tarjeta programable” y se puede descargar para ser instalada en el móvil desde el siguiente enlace:

- <https://play.google.com/store/apps/details?id=com.smartrobotandroid.cajamusical>

Figura 8. Proyecto de caja de música controlada por la BBC Micro:Bit.



Fuente: Elaboración propia, 2019.

Este último proyecto propuesto considera también diferentes elementos de los fundamentos de la programación en su utilización (variables, estructuras secuenciales, de iteración, etc.), además de utilizar sentencias de comunicación “Serial”, comunicación utilizando el protocolo “I2C”, además de las sentencias de generación de sonido en la tarjeta BBC Micro:Bit.

Estos tres proyectos fueron generados tras haber utilizado la tarjeta BBC Micro:Bit durante el seminario impartido, y permiten demostrar la utilización del dispositivo para la construcción de proyectos que reflejan una interacción con el mundo real permitiendo en el proceso acrecentar el conocimiento de los fundamentos de la programación al momento de programarlos.

4. Conclusiones de la investigación

El uso del Cómputo Físico resulta innovador para la enseñanza de las Ciencias Computacionales, así como la enseñanza de los fundamentos de la programación como queda demostrado en los

resultados mostrados en esta investigación, ya que además de obtener un incremento en el aprendizaje de diferentes estructuras y conceptos propios de la programación de aplicaciones, los participantes del seminario mostraron una percepción positiva sobre los contenidos y la forma en que fueron enseñados durante la impartición del seminario justificando con esto la pertinencia de la estrategia utilizada en conjunto con el producto tecno-pedagógico obtenido, así como la elección de la herramienta tecnológica seleccionada.

Con respecto a la parte de la tangibilidad y la parte “física” del uso de componentes electrónicos, de igual forma queda demostrado en los resultados presentados el cómo se logra un aprendizaje significativo en los estudiantes cambiando la forma convencional de la enseñanza de la programación principalmente sobre temas abstractos propios de las Ciencias Computacionales, teniendo la posibilidad de construir algo original que puede ser mostrado y compartido con las demás personas y con esto obtener un producto único y original pudiendo también obtener una retroalimentación en un entorno de aprendizaje colaborativo para la mejora continua del producto generado.

La tarjeta BBC Micro:Bit es ideal como herramienta tecnológica ya que es de fácil programación en conjunto con la facilidad de los entornos de desarrollo disponibles para llevar a cabo tareas complejas de una forma sencilla, permitiendo con esto que los estudiantes se enfoquen más en explotar la creatividad en la creación de productos tangibles sin tener un conocimiento extenso de la programación de aplicaciones o de la electrónica tal como quedó demostrado en los resultados presentados en esta investigación.

Como un producto derivado de la aplicación del seminario, se presentaron proyectos que son fáciles de construir utilizando la tarjeta BBC Micro:Bit, los cuales permiten hacer uso de las diferentes características del dispositivo, los cuales pueden ser presentados a los estudiantes en aplicaciones posteriores del seminario como un factor motivacional y de ejemplificación de los diferentes artefactos que se pueden construir mediante esta herramienta del Cómputo Físico, con componentes de fácil adquisición en tiendas de electrónica, y pudiendo programar la tarjeta de manera sencilla con los diferentes entornos de desarrollo que están disponibles en Internet para ello.

Finalmente, se tiene planeado impartir este seminario en diferentes Instituciones educativas y Facultades para confirmar los resultados obtenidos en esta investigación, pero realizando ajustes en las sesiones presentadas en el seminario, los contenidos del mismo así como de los contenidos digitales generados para impartir el seminario, buscando un aumento en la confiabilidad de los instrumentos de recolección de datos, y se seguirá

Implementación del Cómputo Físico como un enfoque innovador de enseñanza...

investigando el uso del Cómputo Físico para la enseñanza de las Ciencias Computacionales y los

fundamentos de la programación para quien tenga el deseo de aprender estos conocimientos.

Referencias

- Ackermann, E. (2001). Piaget's Constructivism , Papert's Constructionism: What's the difference? *Constructivism: Uses and Perspectives in Education*, 1–11. <https://doi.org/10.1.1.132.4253>
- Aguilar, L. (2008). *Fundamentos de programación : algoritmos, estructuras de datos y objetos*. España: McGraw-Hill/Interamericana.
- Arduino. (2017). Introduction. Recuperado el 22 de mayo de 2018, a partir de <https://www.arduino.cc/en/Guide/Introduction>
- Arshavskiy, M. (2014). *Diseño Instruccional para Aprendizaje En Línea Guía Esencial Para La Creación De Cursos Exitosos De Educación En Línea*. City: Createspace Independent Pub.
- BBC. (2017). BBC micro:bit celebrates huge impact in first year, with 90% of students saying it helped show that anyone can code. Recuperado el 5 de enero de 2018, a partir de <http://www.bbc.co.uk/mediacentre/latestnews/2017/microbit-first-year>
- Black, L. (2012). Google Blockly - A Graphical Language with Difference. Recuperado el 27 de octubre de 2017, a partir de <http://www.i-programmer.info/news/98-languages/4357-google-blockly-a-graphical-language-with-a-difference.html>
- Butler, M., & Morgan, M. (2007). Learning challenges faced by novice programming students studying high level and low feedback concepts. En *Proceedings of the 24th Ascilite Conference*, 99–107.
- Fuentes Pérez, A. D. (2017). *Desarrollo y evaluación del pensamiento computacional: una propuesta metodológica y una herramienta de apoyo*. Congreso Internacional sobre aprendizaje, innovación y competitividad 2017. Universidad de La Laguna.
- Gee, S. (2015). Visual Language Snap! Version 4.0 Released. Recuperado el 28 de septiembre de 2017, a partir de <http://www.i-programmer.info/news/98-languages/8628-visual-language-snap-version-40-released.html>
- Gottfried, B. S. (1997). Teaching computer programming effectively using active learning. *Age*, 2(1), 1-8.
- Guzmán, T. (2016). Sistema Multimodal de Educación. Recuperado el 20 de enero de 2019, a partir de <https://www.uaq.mx/docsgrales/informatica/Sistema-Multimodal-de-educacion-UAQ.pdf>
- Halfacree, G. (2018). *The official BBC Micro:bit user guide*. Indianapolis, Ind: John Wiley and Sons, Inc.
- Hevner, A. R., March, S. T., Park, J., & Ram, S. (2004). Design science in information systems research. *MIS Quarterly*, 28(1), 75–105. <https://doi.org/10.2307/25148869>
- Igoe, T. (2004). What Is Physical Computing? Recuperado el 9 de marzo de 2017, a partir de <http://www.tigoe.com/blog/what-is-physical-computing/>
- Isong, B. (2014). A Methodology for Teaching Computer Programming: first year students' perspective. *International Journal of Modern Education and Computer Science*, 6(9), 15–21. <https://doi.org/10.5815/ijmecs.2014.09.03>
- Jenkins, T. (2002). On the difficulty of learning to program. *Proceedings of the 3rd Annual Conference of the LTSN Centre for Information and Computer Sciences*, 4(2002), 53–58.
- Lahtinen, E., Ala-Mutka, K., & Järvinen, H.-M. (2005). A study of the difficulties of novice programmers. *ACM SIGCSE Bulletin*, 37(3), 14-18. <https://doi.org/10.1145/1151954.1067453>
- Monk, S. (2018). *Programming the BBC micro:bit*. New York: Mc Graw Hill Education.
- Norton, P. (2006). *Introducción a la computación* (6a ed.). Editorial Mc Graw Hill.
- O'Sullivan, D., & Igoe, T. (2004). *Physical computing : sensing and controlling the physical world with computers*. (Thomson, Ed.). Boston: Thomson.
- Pérez Calderón, R. (2008). Una Herramienta y Técnica para la Enseñanza de la Programación. *CICos*, (11), 229-239.
- Platt, C. (2009). *Make: electronics : learning by discovery*. Sebastopol, Calif: O'Reilly.
- Pressman, R. (2010). *Ingeniería del software: un enfoque práctico* (7a ed.). México: McGraw-Hill.
- Raspberry Pi Foundation. (2012-2017). What is a Raspberry Pi? Recuperado el 26 de mayo de 2018, a partir de <https://www.raspberrypi.org/help/what-is-a-raspberry-pi/>
- Rubio, M. A., Mañoso, C., & Pérez, Á. (2013). Using arduino to enhance computer programming courses in science and engineering. En *Proceedings of EDULEARN13 conference*, 1–3.
- Sentance, S., Waite, J., Hodges, S., MacLeod, E., & Yeomans, L. (2017). "Creating Cool Stuff". *Proceedings of the 2017 ACM SIGCSE Technical Symposium on Computer Science Education - SIGCSE '17*, (March), 531–536. <https://doi.org/10.1145/3017680.3017749>
- Universidad Autónoma de Querétaro. (2017). Programación Avanzada. Recuperado el 23 de junio de 2018, a partir de http://uaqedvirtual.uaq.mx/campusvirtual/ingenieria/pluginfile.php/15494/mod_resource/content/11/ProgramacionAvanzada-230.pdf
- Vera, E. E. (2017). *Estrategias de aprendizaje autónomo para disminuir los índices de reprobación en la materia de Metodología de la Programación en la FCC de la BUAP en un sistema de E-Learning*. Centro de Estudios

Superiores en Educación.

- Vidal, C. L., Cabezas, C., Parra, J. H., & López, L. P. (2015). Experiencias prácticas con el uso del lenguaje de programación scratch para desarrollar el pensamiento algorítmico de estudiantes en Chile. *Formacion Universitaria*, 8(4), 23-32. <https://doi.org/10.4067/S0718-50062015000400004>
- Zapata, C. A. (2013). *Fundamentos de programación, guía de autoenseñanza*. RA-MA Editorial.
- Zapata-Ros, M. (2015). Pensamiento computacional: Una nueva alfabetización digital. *Revista de Educación a Distancia (RED)*, 46(46), 1-47. <https://doi.org/10.6018/red/46/4>