

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL ECUADOR



FACULTAD DE INGENIERÍA

MAESTRÍA EN REDES DE COMUNICACIÓN

INFORME FINAL CASO DE ESTUDIO PARA UNIDAD DE TITULACIÓN ESPECIAL

TEMA:

**“DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA PROTOTIPO INALÁMBRICO
DE CERCA VIRTUAL CON TECNOLOGÍA BLUETOOTH Y ANDROID PARA EL
CUIDADO DE NIÑOS”**

FABRIZIO VICENTE VILLASIS CHIRIBOGA

Quito – 2016

Autoría

Yo, ***Fabrizio Vicente Villasis Chiriboga***, portador de la cédula de ciudadanía No. ***1715368104***, declaro bajo juramento que la presente investigación es de total responsabilidad del autor, y que se he respetado las diferentes fuentes de información realizando las citas correspondientes. Esta investigación no contiene plagio alguno y es resultado de un trabajo serio desarrollado en su totalidad por mi persona.

Fabrizio Vicente Villasis Chiriboga

Tabla de Contenidos

| | |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| 1. Introducción..... | 1 |
| 2. Justificación..... | 3 |
| 3. Antecedentes..... | 5 |
| 4. Objetivos..... | 8 |
| 4.1 Objetivo General..... | 8 |
| 4.2 Objetivos Específicos..... | 8 |
| 5. Desarrollo Caso de Estudio..... | 9 |
| 5.1 Diseño del Sistema Prototipo..... | 9 |
| 5.1.1 Diseño del comportamiento del sistema..... | 9 |
| 5.1.2 Diseño de la estructura del sistema..... | 11 |
| 5.1.3 Diseño de la funcionabilidad del sistema..... | 12 |
| 5.2 Estudio del equipamiento necesario..... | 17 |
| 5.2.1 Dispositivo móvil y sistema operativo Android..... | 17 |
| 5.2.2 Entorno de Desarrollo Integrado para crear aplicaciones..... | 19 |
| 5.2.3 Módulos Localizadores..... | 21 |
| 5.2.4 Arduino..... | 25 |
| 5.2.5 Baterías..... | 26 |
| 5.2.6 Tecnología Bluetooth [12]..... | 27 |
| 5.3 Elaboración del prototipo funcional..... | 29 |
| 5.3.1 Desarrollo de la aplicación..... | 29 |
| 5.3.2 Implementación de los Módulos Localizadores..... | 48 |
| 5.4 Pruebas de Funcionamiento del Sistema..... | 55 |
| 5.4.1 Pruebas del Funcionamiento de la Aplicación para el dispositivo móvil del Educador..... | 55 |
| 5.4.2 Pruebas del Funcionamiento del Prototipo..... | 66 |
| 6. Conclusiones y Recomendaciones..... | 68 |
| 6.1 Conclusiones..... | 68 |
| 6.2 Recomendaciones..... | 69 |
| 7. Referencias:..... | 70 |
| 8. Anexos..... | 72 |
| Anexo 1: Datasheet HC-05..... | 73 |
| Anexo 2: Arduino UNO..... | 74 |
| Anexo 3: MIT App Inventor 2..... | 75 |
| Anexo 4: Developer Android Bluetooth..... | 76 |

Lista de Tablas

| | |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Tabla 1. Dispositivos de gama baja disponibles en el mercado local y sus precios. Fuente: el autor. | 22 |
| Tabla 2. Clasificación de los dispositivos Bluetooth por clases. | 28 |
| Tabla 3. Clasificación de los dispositivos Bluetooth por su capacidad de canal. | 28 |
| Tabla 4. Comandos AT utilizados para la configuración de los módulos HC-05. Fuente: el autor. | 52 |
| Tabla 5. Configuraciones establecidas y conseguidas de los módulos Bluetooth HC-05. Fuente: el autor. | 53 |
| Tabla 6. Pruebas con línea de vista. | 67 |

Lista de Figuras

| | |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Figura 1. Esquema de los componentes externos que interactúan con el sistema FenceChild. | 10 |
| Figura 2. Esquema del comportamiento del sistema FenceChild. | 11 |
| Figura 3. Esquema estructural por bloques funcionales del sistema FenceChild. | 12 |
| Figura 4. Diagrama esquemático de la funcionabilidad del sistema FenceChild. | 13 |
| Figura 5. Funcionabilidad de la aplicación del sistema FenceChild..... | 16 |
| Figura 6. Diagrama de las conexiones Bluetooth entre el dispositivo móvil (Maestro) y los módulos localizadores seleccionados en la aplicación (Esclavos). | 17 |
| Figura 7. Ventas de teléfonos inteligentes a usuarios finales según el sistema operativo a nivel mundial. | 18 |
| Figura 8. Imagen que refleja la altísima presencia del sistema operativo Android en los teléfonos inteligentes en la sociedad moderna. | 19 |
| Figura 9. Ventana navegador web con el entorno de desarrollo MIT App Inventor 2. | 21 |
| Figura 10. Módulo Bluetooth Bee. | 23 |
| Figura 11. Módulo Bluetooth HC-05..... | 24 |
| Figura 12. Placa Arduino UNO. | 25 |
| Figura 13. IDE para Arduino. | 26 |
| Figura 14. Baterías CR2032 y GP Super27A respectivamente. | 27 |
| Figura 15. Batería GP NiMH T207 de 3.6VDC y 550mAh. | 27 |
| Figura 16. Posibles topologías en una red Bluetooth a) Piconet único esclavo. b) Piconet múltiples esclavos. c) Scatternet. Tomado de (Varela Burbano, 2007)..... | 29 |
| Figura 17. Diagrama de flujo de la aplicación para el dispositivo móvil del Educador, del sistema FenceChild. | 33 |
| Figura 18. Pantalla Carátula de la aplicación para el dispositivo móvil del Educador, del sistema FenceChild. | 34 |
| Figura 19. Programa de la Carátula de la aplicación para el dispositivo móvil del Educador, del sistema FenceChild. | 36 |
| Figura 20. Pantalla Selector Módulos – Infante Asociado de la aplicación para el dispositivo móvil del Educador, del sistema FenceChild..... | 37 |
| Figura 21. Programa Selector Módulos – Infante Asociado de la aplicación para el dispositivo móvil del Educador, del sistema FenceChild..... | 41 |
| Figura 22. Pantalla “Radar” o de Monitorización de los Módulos Localizadores de la aplicación para el dispositivo móvil del Educador, del sistema FenceChild. | 42 |
| Figura 23. Programa del “Radar” o del Monitorización de los Módulos Localizadores de la aplicación para el dispositivo móvil del Educador, del sistema FenceChild. | 48 |
| Figura 24. Diagrama de conexiones de la placa Arduino al módulo Bluetooth HC-05 para su configuración. | 49 |
| Figura 25. Programa para la placa Arduino que permite la comunicación con el módulo HC- 05 para su configuración por comandos AT. | 50 |
| Figura 26. IDE Arduino y su Monitor Serie, que permite ingresar los comandos AT para configurar al módulo Bluetooth HC-05. | 51 |
| Figura 27. Diagrama de conexiones del Módulo Localizador. | 53 |

| | |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Figura 28. Módulo Localizador. | 54 |
| Figura 29. Bolsa contenedora del Módulo Localizador y para que el infante lo lleve asegurado en sus ropas. | 54 |
| Figura 30. a) Buscar dispositivos Bluetooth cercanos. b) Dispositivos encontrados. | 56 |
| Figura 31. a) Ingreso del respectivo PIN para emparejamiento de los dispositivos. b) Dispositivos emparejados o vinculados. | 56 |
| Figura 32. Aplicación “Bluetooth Pair” para vincular a dispositivos Bluetooth. | 57 |
| Figura 33. a) Ingreso del respectivo PIN para emparejamiento de los dispositivos. b) Dispositivos emparejados o vinculados utilizando la aplicación “Bluetooth Pair”. | 57 |
| Figura 34. Todos los módulos localizadores emparejados o vinculados con el dispositivo móvil del Educador. | 58 |
| Figura 35. Instalación de la Aplicación FenceChild. | 60 |
| Figura 36. a) Pantalla carátula de la aplicación. b) Si está desactivado el Bluetooth se le pide al usuario activarlo para seguir con la aplicación. | 61 |
| Figura 37. a) Pantalla que permite ingresar los nombres de los niños de acuerdo al número de módulo localizador que se le asignó. b) 4 de 5 nombres posibles en éste prototipo ingresados. | 61 |
| Figura 38. Pantalla de Selector de Módulos – Infante Asociado, nombres ingresados y 3 de 5 módulos seleccionados. | 62 |
| Figura 39. Pantalla “Radar” o de monitoreo de los módulos localizadores. | 62 |
| Figura 40. Pantalla de monitoreo, los módulos localizadores se encuentran dentro de la cerca virtual ya que se conectan con el dispositivo móvil del Educador. | 63 |
| Figura 41. a) Un módulo no se encuentra dentro del área de cobertura de la señal Bluetooth. b) Dos niños han salido de la cerca virtual. | 63 |
| Figura 42. Agenda de contactos. | 64 |
| Figura 43. Monitoreo solamente de los módulos localizadores seleccionados sin importar secuencia numérica o tener ingresado un nombre en particular. | 65 |

1. Introducción

En el presente trabajo se plantea elaborar el diseño e implementación de un sistema prototipo inalámbrico empleando comunicación Bluetooth tomando como caso de estudio su aplicación para el cuidado de niños de los niveles educativos inicial, preparatoria y básico elemental.

El proyecto plantea realizar un prototipo para vigilar que los niños permanezcan dentro de una cerca virtual que comprende el rango de cobertura de la señal bluetooth. El sistema contará de una aplicación para cualquier dispositivo móvil que cuente con sistema operativo Android, para el monitoreo de los niños, y tres módulos bluetooth que servirán para localizar a los niños dentro del rango de cobertura. La aplicación para el dispositivo móvil de la persona encargada de cuidar a los niños permite introducir, en una lista, los respectivos nombres de los pequeños asociándolos al número de módulo bluetooth que llevan los niños atados a su ropa, cuando algún infante salga del área de cobertura la aplicación avisará al cuidador con vibración y sonido de alerta indicándole además en la lista el nombre del niño con un fondo rojo. Cuando el niño regresa dentro de la cerca virtual la aplicación lo reconoce y deja de emitir la alerta.

Con éste prototipo se busca utilizar una tecnología común en todo dispositivo móvil para el cuidado y seguridad de los niños en la edad pre-escolar, cuya principal ventaja es utilizar los beneficios que puede brindar el uso de la Tecnología Bluetooth, ofreciendo un recurso tecnológico para el cuidado del niño.

El contenido del presente documento presenta la siguiente estructura: como primera parte se hace referencia al diseño del comportamiento y estructura del prototipo. Luego una comparativa del equipamiento necesario, se pasa a la elaboración del prototipo funcional que consiste en dos partes, la primera es el diseño y la programación de la aplicación para dispositivos móviles que cuenten con el sistema operativo Android, y la segunda, es el armado de los módulos Bluetooth que utilizarán los infantes.

Posteriormente las pruebas de funcionamiento para finalmente presentar las conclusiones y recomendaciones.

2. Justificación

Para los centros educativos con niveles de educación inicial y general básica, específicamente para los subniveles educativos de preparatoria y básica elemental, se torna un problema serio cuando las actividades curriculares han sido planificadas para realizarse fuera de las instalaciones del centro educativo. Este problema radica en que no es posible prestar la suficiente atención y cuidado en la seguridad de los infantes cuando son apenas uno o dos educadores para algo más de entre 10, 20 e incluso 50 niños para los centros fiscales; este problema lo testimonian los mismos educadores, al relatar que un sencillo paseo a un parque en ocasiones se convierte en una dificultad cuando no se logra controlar y cuidar debidamente a todos los infantes y se teme que algún niño se pierda al alejarse del grupo.

Por esta razón, los centros educativos siempre han buscado en el campo tecnológico un recurso o medio que permita brindar mayor seguridad a los infantes y evitar que algún niño se pierda, además, dicho material tiene que adecuarse al presupuesto limitado de algunas instituciones que cuenten o no con el apoyo del Estado.

Para brindarles una solución, el presente trabajo presenta el diseño e implementación de un sistema inalámbrico de cercado con tecnología bluetooth, a fin de ofrecer un dispositivo a bajo costo y fácil manejo, que provea de un recurso innovador a los educadores de los centros de educación de tal manera que al utilizarlo la actividad que se realice fuera de la institución, sea cumplida con la mayor eficacia posible y evite a toda costa el extravío de cualquier niño.

Hoy en día la tecnología ha aportado a la humanidad beneficios que le permitan cubrir las necesidades que se presenta con el avance de la misma, y este proyecto sin duda tiene como objetivo primordial brindar un recurso para aquellas personas que son responsables del cuidado de los niños, en una edad entre los 3-8 años, puesto que por la naturaleza inquieta de los niños en esa etapa de desarrollo hace que quieran experimentar con su entorno y este es más evidente en lugares públicos en donde más de una cosa atraen su atención por completo.

La realización de este proyecto tiene por objetivo entregar un producto cuya base es el resultado de la ingeniosa aplicación de la tecnología bluetooth, de tal manera que permita obtener un sistema innovador que brinde, entre otros, los siguientes beneficios:

- Evitar la pérdida o secuestros de los niños en espacios abiertos con aglomeración de público.
- Permita a los padres y educadores tener localizados a los menores en actividades como: visitas al zoológico, museo, excursiones, etc.

El sistema prototipo de cerca virtual, se basa en la utilización de la tecnología Bluetooth y en el sistema operativo Android. Se puede definir con una herramienta tecnológica cuya base es la utilización de ondas de radio que permite determinar si el niño se encuentra dentro del rango de cobertura Bluetooth del dispositivo móvil que cuenta el educador, en un lugar público y en tiempo real. El sistema prototipo se basa en una aplicación Android instalada en el celular o tableta inteligente del educador y tres módulos bluetooth colocados en pulseras o bolsos, que tendrá cada niño sujeto en sus ropas, y cuya dirección MAC los diferenciará y asociará a cada infante, el teléfono inteligente, mediante multiplexación, se irá conectando a cada módulo bluetooth verificando su cercanía a éste. Así permite tener “cercado” a los niños dentro de un rango aproximado de 10 metros y si alguno de ellos sale de ésta cobertura y no se encuentra el módulo, se indica este hecho inmediatamente al educador emitiendo una alerta auditiva, visual y vibratoria en el celular para llamar la atención del educador y éste enseguida llame la niño y no se pierda del grupo.

3. Antecedentes

El Reglamento General a la Ley Orgánica de Educación Intercultural, en su Título III de la Estructura Y Niveles del Sistema Nacional De Educación, Capítulo III de los Niveles y Subniveles Educativos, Art. 27.- Denominación de los niveles educativos, establece que el Sistema Nacional de Educación tiene tres (3) niveles: Inicial, Básica y Bachillerato, en donde el nivel de Educación Inicial se divide en dos (2) subniveles:

1. Inicial 1, que no es escolarizado y comprende a infantes de hasta tres (3) años de edad;
2. Inicial 2, que comprende a infantes de tres (3) a cinco (5) años de edad.

Y el nivel de Educación General Básica que se divide en cuatro (4) subniveles, en donde sólo interesan los dos primeros:

1. Preparatoria, que corresponde a 1.º grado de Educación General Básica y preferentemente se ofrece a los estudiantes de cinco (5) años de edad;
2. Básica Elemental, que corresponde a 2.º, 3.º y 4.º grados de Educación General Básica y preferentemente se ofrece a los estudiantes de 6 a 8 años de edad. [1]

En estos centros de educación, dentro de la Planificación de Objetivos Anuales (POA) se establecen las actividades a ser realizadas en el año y siempre apuntando al desarrollo integral de los infantes o niños. Dentro de dicha planificación se van conjugando armoniosamente las actividades educativas y las actividades recreativas como complemento palpable de la primera. Las actividades recreativas, entre otras, pueden ser: paseos, excursiones, etc.; medios por los que se logra complementar satisfactoriamente todos y cada uno de los objetivos anuales planteados.

Ya en la realización de las actividades planificadas, suelen presentarse varios inconvenientes al momento de la ejecución de las mismas y más si éstas son fuera del establecimiento del centro educativo. Por ejemplo, cuando se planifica una visita a alguna embajada, museo o lugar turístico, obedeciendo a lo planificado, generalmente se designan para esta actividad una o dos educadores, y se les entrega la responsabilidad de cuidar desde un grupo pequeño de infantes hasta situaciones, principalmente en centros educativos fiscales o fundaciones, en que son algo más de 50 niños, lo cual se convierte en un inconveniente para el adecuado desarrollo de la actividad. Además, como se trata de infantes cuya edad está entre 3, 5, hasta 8 años, resulta difícil a los educadores estar pendiente de cada uno de ellos y saber en todo momento dónde está cada uno de ellos y por su naturaleza inquieta, propia de los niños en estas edades, no siempre acatan las instrucciones. Al realizar esta actividad los riesgos inherentes a la misma son:

- Pérdida de los menores en los lugares de visita, porque el niño se distrae y no permanece con el grupo, empeorando cuando los lugares de visita están con aglomeración de público o en espacios abiertos.
- Los niños no logran ser cuidados por tan solo uno o dos educadores, por su gran número y dependiendo del lugar de la salida.
- En lugares muy abiertos no se logra tener la ubicación exacta de cada infante, esta situación trae como consecuencia la posibilidad de que existan accidentes.
- Preocupación constante de los padres de familia, porque saben la dificultad en poder brindarles una atención personalizada a sus niños.

Estas razones legitiman o fundamentan la necesidad de que los centros de educación y los educadores cuenten con un recurso como el Sistema de Cerca Virtual Inalámbrico con Tecnología Bluetooth que permita controlar a los niños en estos lugares, de tal manera que las actividades educativas/recreativas sean aprovechadas al máximo reduciendo los riesgos de que los niños se extravíen o peor aún sean secuestrados o robados y que los maestros estén tranquilos sabiendo que verdaderamente están cuidando al cien por cien de cada uno de los infantes a ellos encomendados.

4. Objetivos

4.1 Objetivo General

Diseñar e implementar un sistema prototipo inalámbrico de cerca virtual, empleando tecnología Bluetooth, compuesto por una aplicación para teléfono inteligente con sistema Android y 3 localizadores, que permita tener cercados virtualmente a los niños dentro de un área de 10 metros a la redonda, para su cuidado.

4.2 Objetivos Específicos

1. Diseñar del comportamiento, estructura y funcionabilidad del sistema.
2. Estudiar del equipamiento necesario.
3. Elaborar el prototipo funcional, desarrollando una aplicación para sistemas operativos Android que permita, utilizando tecnología Bluetooth, saber si los localizadores están dentro de un área aproximada de 10 metros a la redonda y si no es el caso, emita una alerta visual con el nombre del niño, vibratoria y auditivo. Además, implementar localizadores pequeños y que sean transportables por los niños, que permitan determinar su presencia, vía Bluetooth.
4. Realizar pruebas y obtener resultados.
5. Realizar un artículo referente al diseño e implementación de un sistema prototipo inalámbrico de cerca virtual con tecnología Bluetooth y Android para el cuidado de niños.

5. Desarrollo Caso de Estudio

Primero se presenta el diseño de la funcionabilidad del sistema y su comportamiento, lo que permite establecer los requerimientos lógicos para luego hacer un estudio del equipamiento necesario. De ahí, la lógica y programación de la aplicación necesaria para cualquier dispositivo móvil con sistema operativo Android, para luego pasar a los localizadores utilizados por los niños y finalmente las pruebas, cumpliendo el objetivo del presente caso de estudio.

5.1 Diseño del Sistema Prototipo

El diseño del sistema prototipo de cerca virtual consistió en utilizar la tecnología Bluetooth y el sistema operativo Android, de uso tan común en nuestra vida moderna, para dirigirlo hacia el cuidado de los niños, permitiendo así brindar una mayor eficiencia y seguridad en las actividades recreativas y/o formativas inherentes a la propuestas educativas que entregan las instituciones educativas a los pequeños que en ella se forman.

5.1.1 Diseño del comportamiento del sistema

La representación del comportamiento o funcional del sistema, se centra en especificar su comportamiento en función de los factores o actores externos que interactúan con él.

De aquí en adelante se hace referencia al “Diseño e implementación del sistema prototipo inalámbrico de cerca virtual con tecnología Bluetooth y Android para el cuidado de niños” por su nombre comercial “FenceChild” que su traducción del inglés al español es “CercaNiño”.

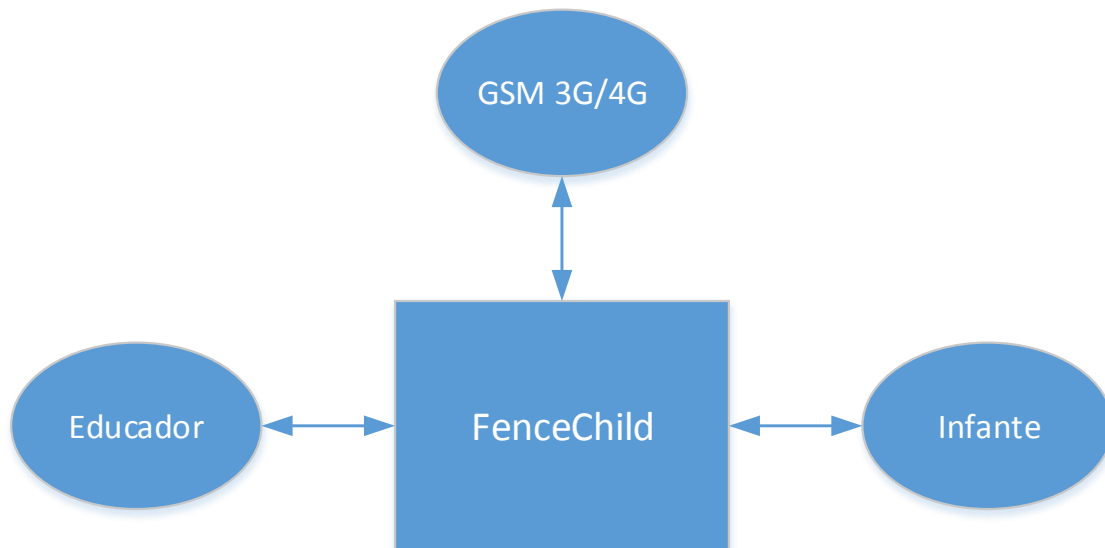


Figura 1. Esquema de los componentes externos que interactúan con el sistema FenceChild.
Fuente: el autor.

Como se observa en la Figura 1, el sistema prototipo de cerca virtual para el cuidado de niños “FenceChild” define su comportamiento bidireccionalmente hacia tres elementos externos, el primero es el Educador, que es la persona que está a cargo del cuidado de los niños, él introducirá y recibirá información del sistema; el segundo los Infantes a quienes el sistema tiene que cercar virtualmente mediante la indicación de presencia y como tercer elemento la red de telefonía celular GSM para que el sistema pueda comunicarse con el exterior.

La siguiente Figura 2, muestra la representación de comportamiento, mostrando como este conjunto de componentes u objetos principales conforman el sistema. Como se aprecia en el centro, se tiene el dispositivo móvil que llevará el Educador o persona a cargo de los niños y el rango de cobertura de la señal Bluetooth, alrededor del dispositivo móvil se tiene los módulos localizadores que lleva cada niño y por último la red de telefonía celular GSM.

Se diseñó el sistema para usar el modo de operación maestro/esclavo estándar de Bluetooth pero no es una red piconet. [2]

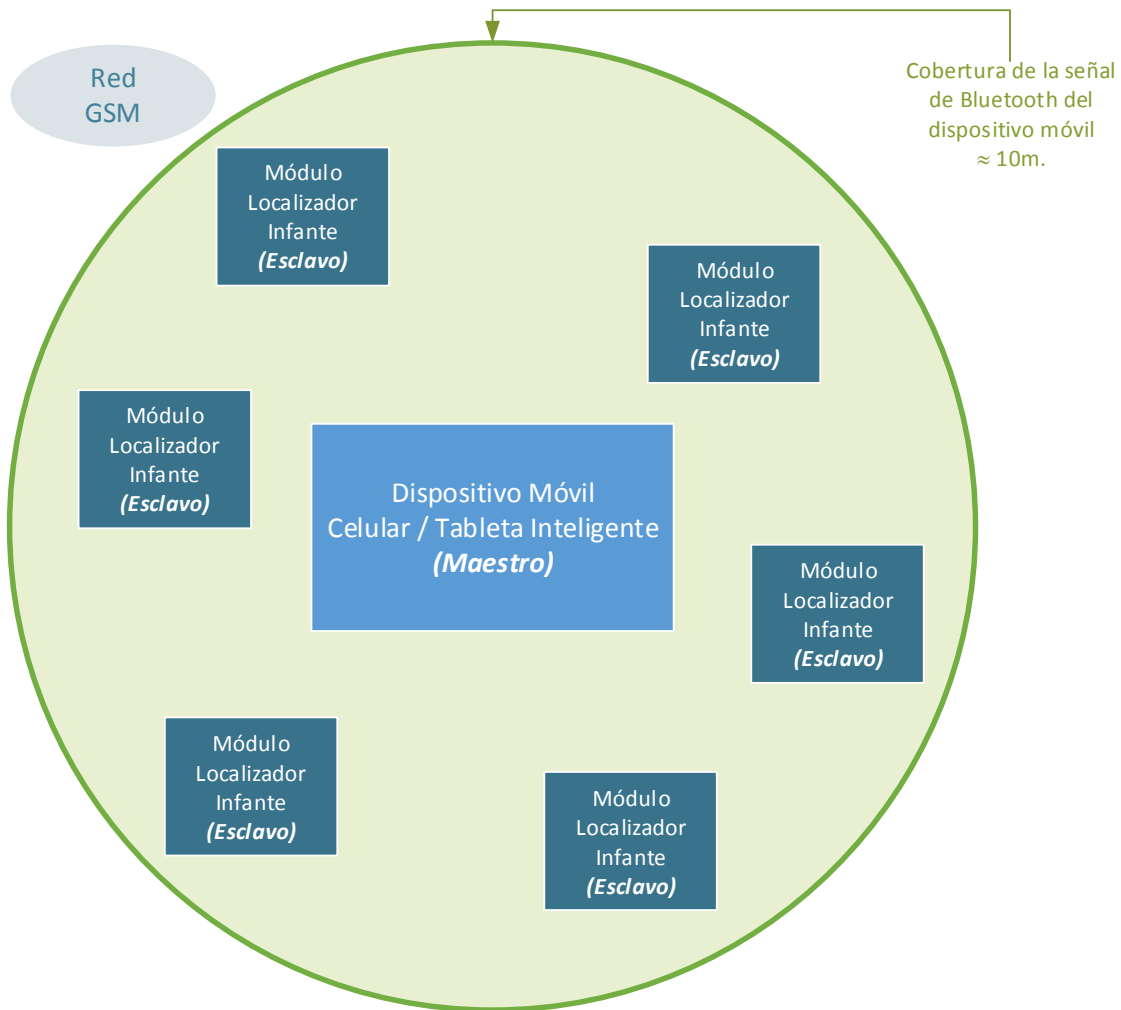


Figura 2. Esquema del comportamiento del sistema FenceChild.
Fuente: el autor.

5.1.2 Diseño de la estructura del sistema

Se procedió a hacer una síntesis de estos objetos principales para obtener una descripción estructural de los bloques funcionales que los conforman y sus conexiones. Así para el Dispositivo Móvil que puede ser un smartphone o teléfono celular inteligente se tienen tres bloques necesarios para el funcionamiento del sistema que son: primero que cuente con un sistema operativo Android, además que disponga de un módulo Bluetooth y por último la aplicación desarrollada para este sistema operativo y que permite el manejo del módulo y las comunicaciones Bluetooth, necesarias para dar vida al sistema. Por ser un dispositivo móvil éste cuenta inherentemente con servicio de telefonía celular GSM.

Los módulos de los infantes básicamente se conforman por un módulo Bluetooth y las baterías necesarias para su funcionamiento.

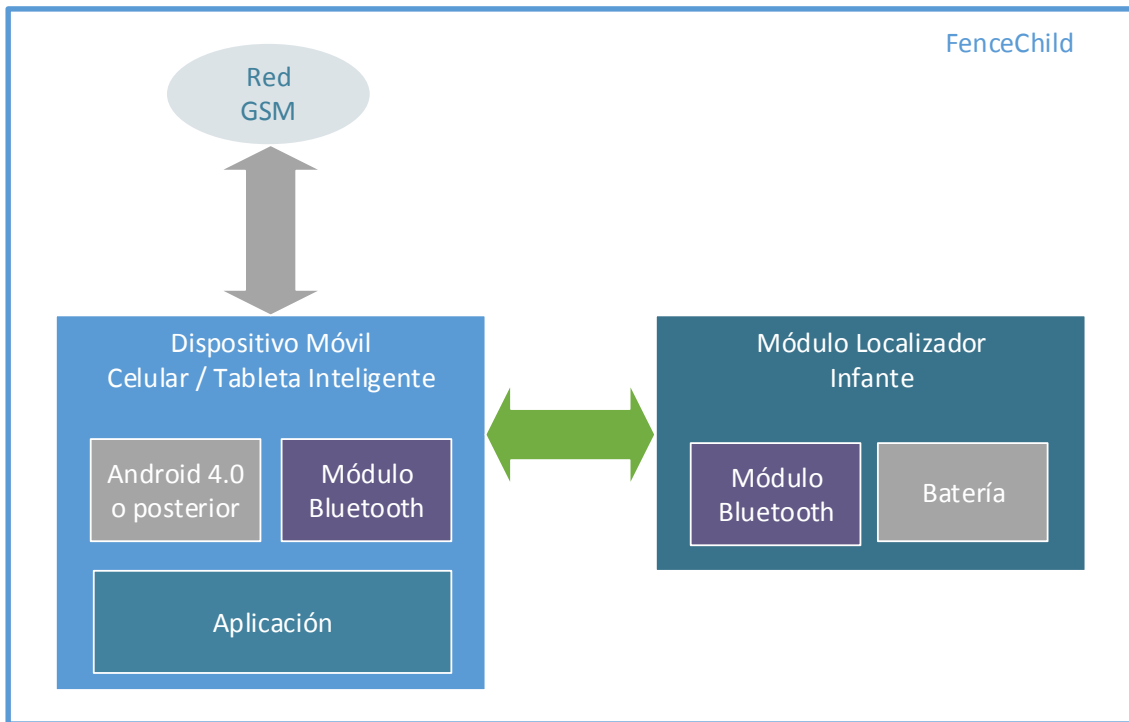


Figura 3. Esquema estructural por bloques funcionales del sistema FenceChild.
Fuente: el autor.

5.1.3 Diseño de la funcionalidad del sistema

La funcionalidad del sistema es sencilla pero ingeniosa, el centro del sistema ésta en el dispositivo móvil que lleva el Educador, que como se mencionó antes, éste debe tener un sistema operativo Android en donde se instala la aplicación y un módulo Bluetooth. Por otro lado el módulo localizador del Infante solamente necesita de un módulo Bluetooth y de las baterías necesarias para alimentar al módulo.

El sistema trabaja de la siguiente manera: el dispositivo móvil irá multiplexando las conexiones hacia cada uno de los módulos localizadores, si estos responden a la solicitud de conexión y se vinculan están obviamente presentes dentro del rango de la señal de Bluetooth del dispositivo móvil del Educador y que es de aproximadamente 10 metros sin obstáculos, caso contrario, si el módulo localizador al cual se debe conectar no responde, es justamente

debido a que no está dentro del área de cobertura, por lo tanto el infante ha salido de la cerca virtual y se procede a dar aviso al Educador para que tome las medidas correspondientes.

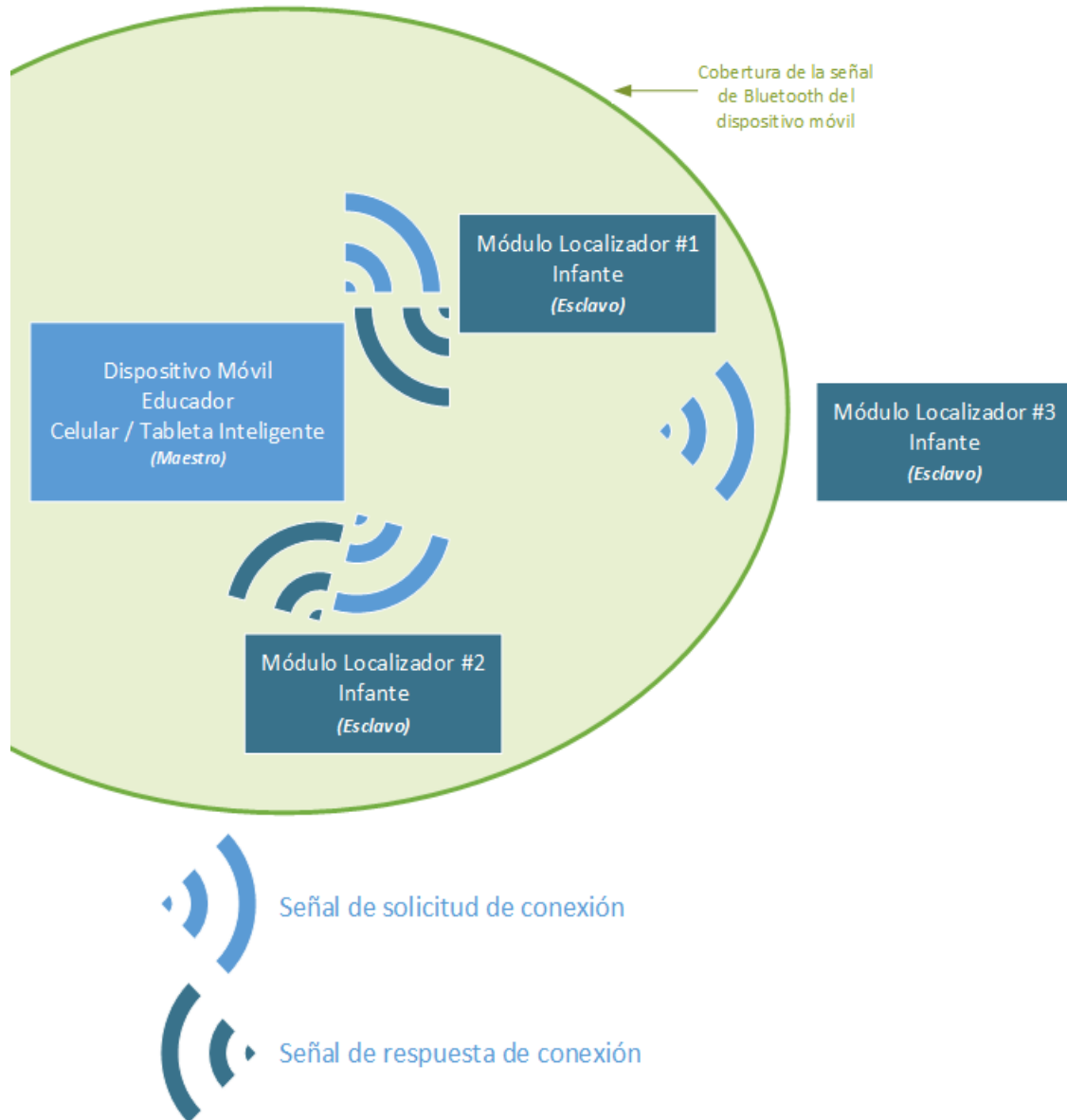


Figura 4. Diagrama esquemático de la funcionalidad del sistema FenceChild.
Fuente: el autor.

La funcionalidad de la aplicación se la diseño para que primero se deba de emparejar todos los módulos localizadores que llevarán los niños con el dispositivo móvil del Educador, esto se lo realiza como cualquier vinculación a otro dispositivo con tecnología Bluetooth, es decir, el Educador activará su módulo Bluetooth, prenderá los módulos localizadores y

realizará la búsqueda de éstos, uno por uno se irá emparejando a los localizadores al introducir la clave que se facilita al Educador, pero que, para personas ajenas al sistema es secreta. El emparejamiento de los módulos localizadores se lo realiza de ésta manera ya que permite al usuario o educador tener el control de cuántos módulos irán a necesitar o de acuerdo a cuántos módulos dispone y revisar si éstos tienen la batería en condiciones óptimas para el trabajo. Pero, el Educador también tiene la opción, para emparejar los módulos localizares, de utilizar aplicaciones de emparejamiento de Bluetooth gratis que se encuentran en la tienda Google Play Store de Android, como por ejemplo Bluetooth Pair [3].

Una vez instalada y ejecutada la aplicación en el dispositivo móvil del Educador, éste verifica que el módulo Bluetooth del Smartphone o Tablet esté activo, si lo está, pasa de la pantalla de bienvenida de la aplicación a una pantalla en dónde el usuario podrá introducir en una lista, los nombres de cada niño según el número de módulo localizador que se les haya asignado previa y respectivamente a cada infante. Introducidos los nombres de cada niño según el módulo localizador que se les asignó, el educador al aceptar la lista, pasa a la pantalla de control de monitoreo de los módulos localizadores.

Aquí la pantalla muestra la lista de los niños con el número de módulo que se les asignó, si está dentro del rango de la señal Bluetooth que emite el dispositivo móvil del Educador, el nombre del niño tendrá un fondo verde como indicador de la cercanía del menor, pero en el momento que salga de esta cobertura inmediatamente el dispositivo móvil emitirá tres señales: una vibratoria, una auditiva con un tono de alarma y una visual poniendo el fondo rojo del nombre del niño que se alejó. De ésta manera el Educador es avisado de que un infante salió de la cerca virtual y sabrá el nombre del niño para poder llamar su atención o buscarlo.

Para situaciones de emergencia se cuenta con dos botones, el primero abre la lista de contactos del dispositivo móvil del Educador lo que permite llamar a cualquier padre de familia o tutor del menor si llegase a ser necesario. Y también se incluyó el botón para llamar directamente a ECU911 si así fuese necesario. Estos dos botones son irremplazables ya que, dado una situación de emergencia, el uno permite pedir ayuda a las entidades de ayuda y el otro permite la rápida comunicación con el padre o tutor del menor, todo dependiendo de la situación y la decisión del Educador.

El sistema se diseñó para que los módulos localizadores trabajen en modo esclavo y sea la aplicación del FenceChild quien se conecte a los módulos utilizando su dirección MAC.

Pero además, la aplicación da la oportunidad al usuario de escoger que módulo de localizador quiere utilizar, por lo tanto, es el educador que de acuerdo a sus circunstancias podrá habilitar el monitoreo o no de un módulo localizador, esto también permite que el sistema se adapte al número de niños que se tenga que cuidar en una determinada ocasión, haciendo del sistema FenceChild ajustable de acuerdo a las necesidades de la institución educativa.

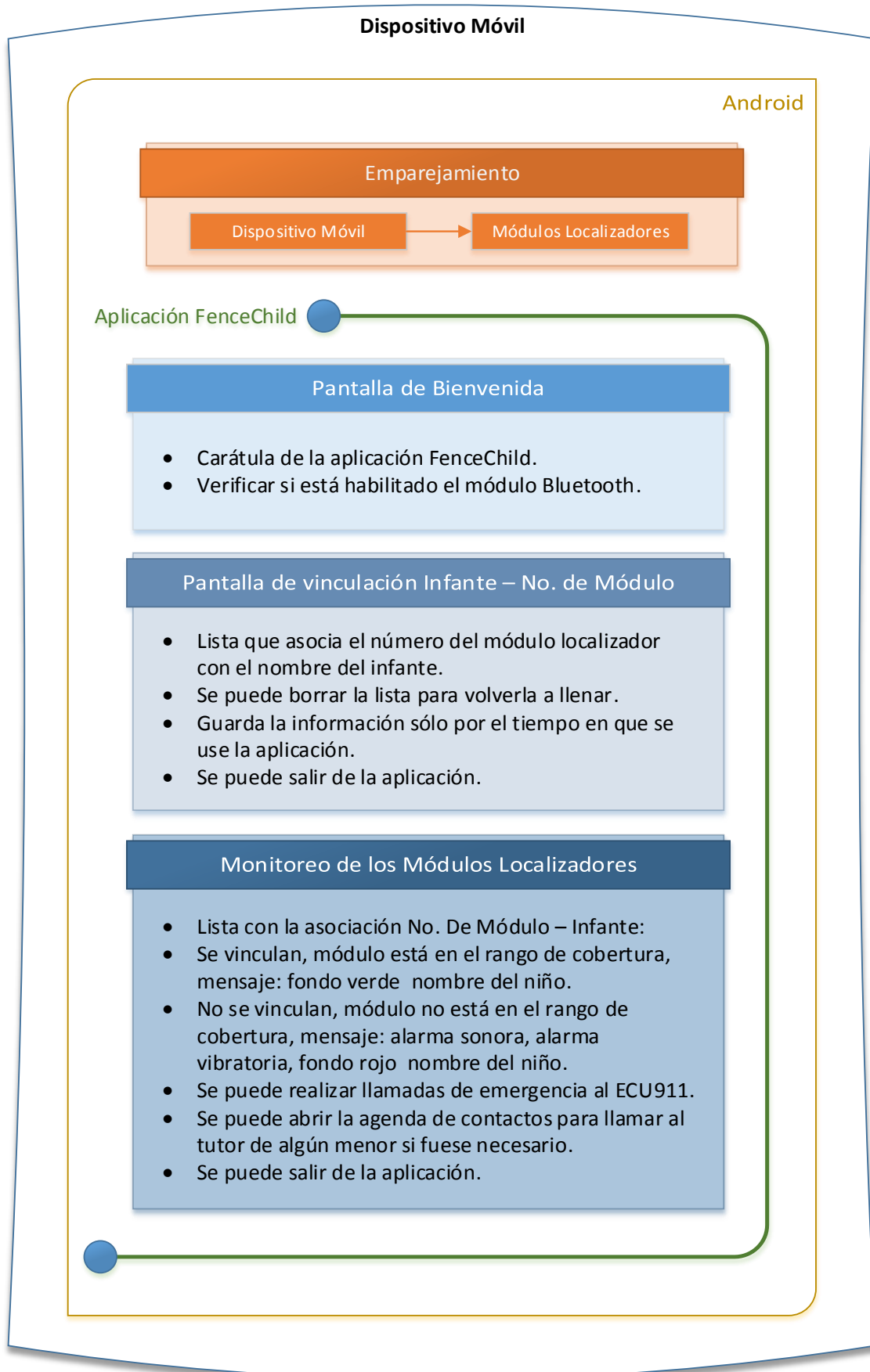


Figura 5. Funcionabilidad de la aplicación del sistema FenceChild.
Fuente: el autor.

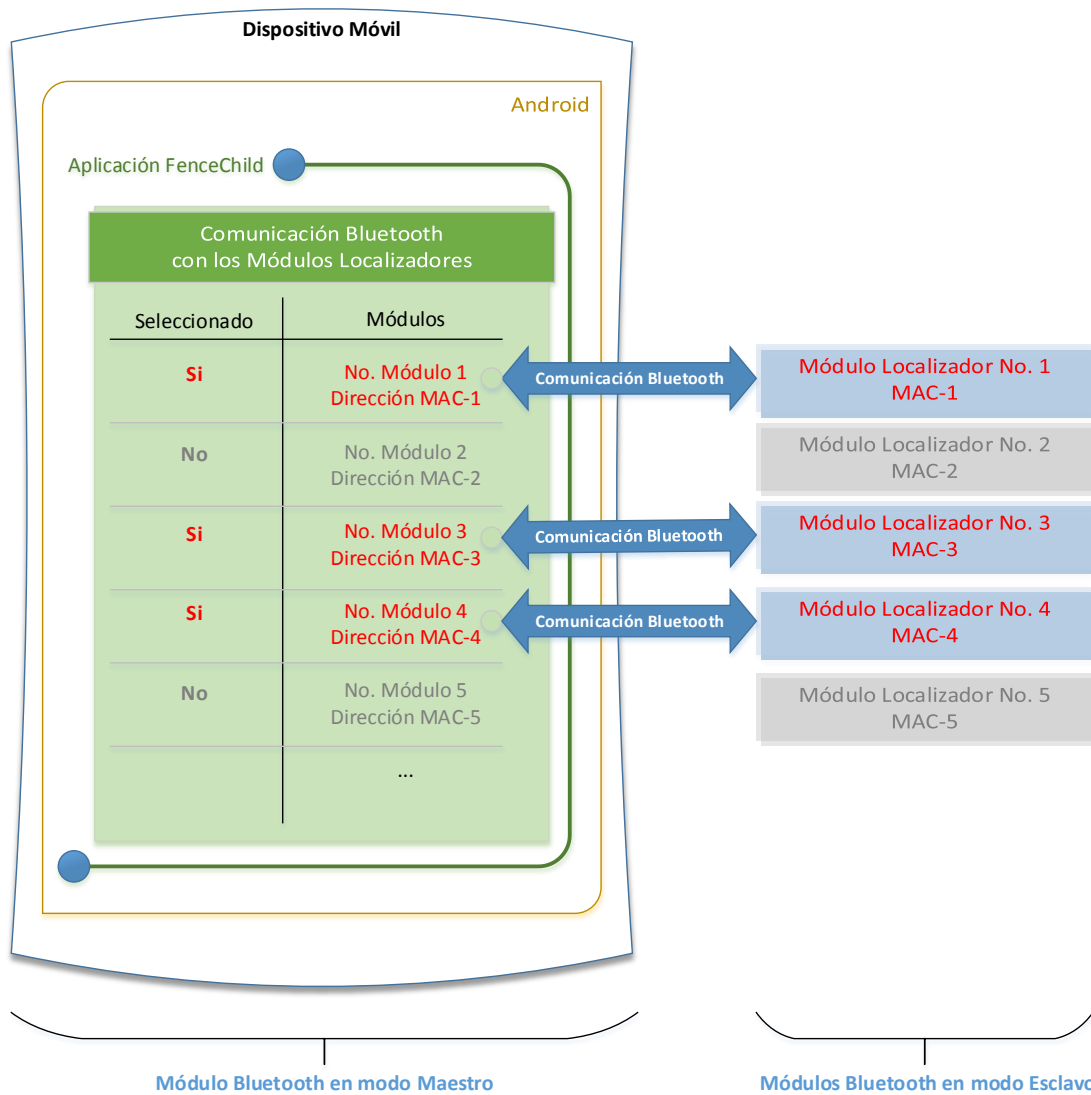


Figura 6. Diagrama de las conexiones Bluetooth entre el dispositivo móvil (Maestro) y los módulos localizadores seleccionados en la aplicación (Esclavos).
Fuente: el autor.

5.2 Estudio del equipamiento necesario

5.2.1 Dispositivo móvil y sistema operativo Android

La aplicación del sistema fue desarrollada para Android ya que es un sistema operativo libre, basado en los estándares abiertos de los dispositivos móviles. Android al ser un sistema abierto, permite desarrollar aplicaciones que pueden acceder a las principales funcionalidades del dispositivo móvil, entendiéndose para este trabajo un smartphone o una Tablet. [4] Por lo tanto, Android al ser una plataforma abierta y libre trae consigo entornos de desarrollo integrado también libres que permiten desarrollar aplicaciones para este sistema operativo.

Además, Android lidera los puestos en ventas, en comparativa con otras plataformas, así en un estudio realizado por la empresa Gartner Group, donde se muestra las ventas de smartphones a nivel mundial por sistemas operativos 2015-2014.

| Worldwide Smartphone Sales to End Users by Operating System in 3Q15 (Thousands of Units) | | | | |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------|----------------------------------|-----------------------|----------------------------------|
| Operating System | 3Q15 Units | 3Q15 Market Share (%) | 3Q14 Units | 3Q14 Market Share (%) |
| Android | 298,797 | 84.7 | 254,354 | 83.3 |
| iOS | 46,062 | 13.1 | 38,187 | 12.5 |
| Windows | 5,874 | 1.7 | 9,033 | 3.0 |
| BlackBerry | 977 | 0.3 | 2,420 | 0.8 |
| Others | 1133.6 | 0.3 | 1,310.2 | 0.4 |
| Total | 352,844.0 | 100.0 | 305,384.0 | 100.0 |

Figura 7. Ventas de teléfonos inteligentes a usuarios finales según el sistema operativo a nivel mundial.
Fuente: Gartner Group. [5]

En Ecuador, según la Encuesta de Condiciones de Vida 2014 del Instituto de Estadística y Censos (INEC), el 24,3 % (2'808.243) de la población de 12 años en adelante tiene un 'smartphone', es decir, un teléfono inteligente. [6] Lo que muestran estos datos es que existe una altísima probabilidad de que el Educador que vaya a utilizar la aplicación ya cuente con un smartphone que utilice el sistema operativo Android.

Se justifica así la selección de la plataforma Android, al disponer de entorno de desarrollo de aplicaciones libres y su gran presencia en los teléfonos inteligentes de los usuarios finales.



Figura 8. Imagen que refleja la altísima presencia del sistema operativo Android en los teléfonos inteligentes en la sociedad moderna.

Tomado de: <http://topmobiletrends.com/u-s-release-dates-latest-android-phones/>

5.2.2 Entorno de Desarrollo Integrado para crear aplicaciones

Existe una gran variedad de entornos de desarrollo para aplicaciones móviles dirigidas al sistema operativo Android. Algunas son pagadas y otras son libres, algunas se necesita instalar el entorno de desarrollo integrado en la computadora y otras son online; otras se necesita tener conocimientos sólidos en programación como en lenguajes Java y XML y existen algunas que tienen plantillas personalizadas o utilizan herramientas drag-and-drop.

Para cumplir con los objetivos de éste caso de estudio se descartaron los entornos de desarrollo de pago y las que poseen plantillas personalizadas ya que no permiten explotar las funcionalidades del dispositivo móvil necesarias. Luego de éstas consideraciones o filtros, para desarrollar la aplicación se consideraron las siguientes opciones:

- Android Studio. [7]
- MIT App Inventor 2. [8]
- AppYet. [9]

Android Studio es el entorno de desarrollo integrado propio de la plataforma Android, es libre y sin duda el entorno integrado más poderoso que existe pero se requiere de buenos conocimientos de programación Java y XML lo que para el autor de este caso de estudio escapa a sus conocimientos, por lo tanto, lamentable mente quedó descartada.

AppYet por otro lado, no requiere de conocimientos en programación, permite insertar módulos, imágenes entre otros pero no permite acceder a las funcionalidades específicas del módulo Bluetooth del dispositivo móvil necesarias para satisfacer los objetivos del presente trabajo, por lo que también quedó descartada.

MIT App Inventor 2, es el entorno de desarrollo online que se utilizó para desarrollar la aplicación del sistema FenceChild ya que permite crear apps sin necesidad de conocimientos profundos en programación, es un entorno de desarrollo integrado que utiliza bloques para una construcción visual, de arrastrar y soltar (lenguaje de programación scratch). Además, permite utilizar, en gran medida, las funcionalidades del módulo Bluetooth del dispositivo móvil, convirtiéndolo en el entorno de desarrollo que satisface en gran medida las necesidades para poder desarrollar la aplicación del sistema FenceChild.

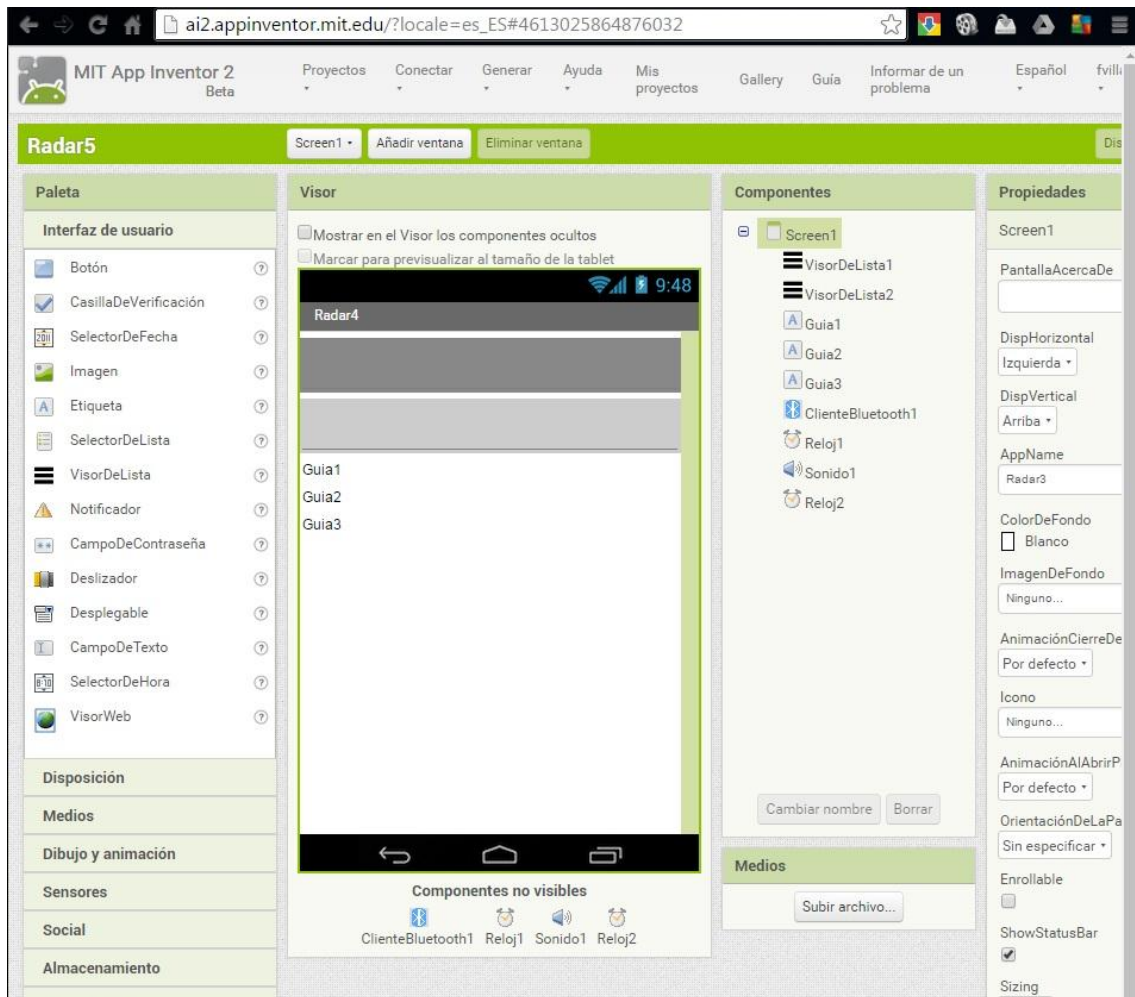


Figura 9. Ventana navegador web con el entorno de desarrollo MIT App Inventor 2.
Fuente: el autor.

5.2.3 Módulos Localizadores

Los módulos localizadores, como deben ser transportados por niños pequeños deben cumplir con tres características:

- No ser pesados.
- Ser pequeños.
- Contar con un módulo Bluetooth.

A más de eso, como el sistema está pensado para que centros educativos con escasos recursos económicos también puedan utilizarlos, los módulos localizadores deben ser baratos.

Por estas razones los dispositivos móviles como teléfonos, tabletas, relojes inteligentes o dispositivos wear quedan descartados ya que aún si se utilizarán sus modelos y marcas más sencillas y económicas, sería un gasto innecesario y estarían estos dispositivos desperdiciados en su uso ya que lo que se requiere es solamente el módulo Bluetooth del aparato.

Tabla 1. Dispositivos de gama baja disponibles en el mercado local y sus precios. Fuente: el autor.

| Dispositivo | Marca-modelo | Precio USD |
|-------------|--------------------------|------------|
| Celular | Yezz Classic C20 | \$22,99 |
| Tableta | Irulu X2S | \$84,99 |
| Reloj | Smart Watch Bluetooth U8 | \$25,99 |

La alternativa es utilizar es dispositivos electrónicos que sean propios módulos de Bluetooth, teniendo en el mercado local dos alternativas:

5.2.3.1 Módulo Bluetooth Xbee [10]

Conocido también como Bluetooth Bee, es un módulo bluetooth fácil de usar compatible con zócalos Xbee existentes.

Sus especificaciones principales son:

- Sensibilidad: -80dBm Típica.
- Potencia de transmisión RF: + 4dBm.
- Totalmente cualificado Bluetooth V2.0 + EDR 3Mbps Modulación.
- Tensión de funcionamiento: 3.3VDC.
- Antena incorporada.
- Contraseña de emparejamiento por defecto Bluetooth es 1234.
- Velocidad de transmisión: 9600, 19200, 38400, 57600, 115200, 230400, 460800 baudios.

Y se encuentra en el mercado a un costo aproximado de USD 22,88.

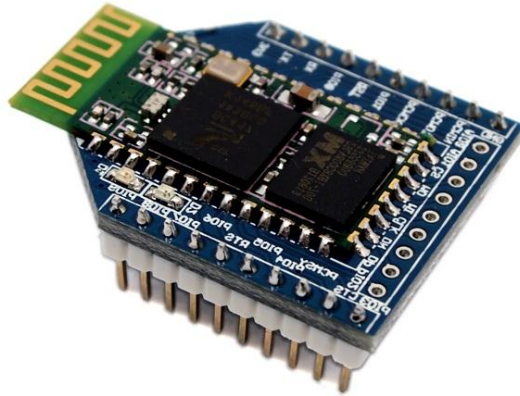


Figura 10. Módulo Bluetooth Bee.
Fuente: el autor.

5.2.3.2 Módulo Bluetooth HC-05 [11]

El módulo Bluetooth JYMCU HC-05, puede trabajar de modo maestro o de modo esclavo, y está pensado para trabajar solo o acompañado por un microcontrolador.

El módulo Bluetooth HC-05 viene con un firmware completo grabado en él, permite su configuración utilizando los comandos AT. Puede crear una conexión a otros módulos.

Sus especificaciones principales son:

- Sensibilidad: -80dBm Típica.
- Potencia de transmisión RF: + 4dBm.
- Totalmente cualificado Bluetooth V2.0 + EDR 3Mbps Modulación.
- Tensión de funcionamiento entre: 3.3VDC – 5VDC.
- Antena incorporada.
- Borde con pines maquinados macho incorporado.
- Control PIO.
- Contraseña de emparejamiento por defecto Bluetooth es 0000.
- Interface UART con velocidades de transmisión programable.

- Velocidad de transmisión por defecto de 38400 baudios, con datos de 8 bits, 1 bit de parada, sin paridad y sin control de errores.
- Velocidades de transmisión soportadas: 9600, 19200, 38400, 57600, 115200, 230400, 460800 baudios
- Auto conexión con el último dispositivo vinculado.
- Se auto-reconecta en 30 min cuando se desconecta como consecuencia de más allá de la gama de conexión.



Figura 11. Módulo Bluetooth HC-05.
Fuente: el autor.

Y se encuentra en el mercado local a un costo aproximado de USD 8,99.

Ambos módulos Bluetooth presentan especificaciones similares pero al hacer una comparativa de precios y las facilidades mecánicas que ofrece la segunda opción, como sus dimensiones y peso, se escogió al módulo HC-05 como la mejor opción para ser utilizado en los Módulos Localizadores que utilizan los infantes en el sistema FenceChild.

5.2.4 Arduino

Para la configuración de los módulos Bluetooth HC-05 se lo realiza con la ayuda de la plataforma Arduino, que se basa en hardware y software libre, lo que permite descartar otras plataformas de código privativo. El microcontrolador ATmega de la placa Arduino se programa mediante el lenguaje de programación Arduino (basado en Wiring) y el entorno de desarrollo Arduino (basado en Processing). La placa básica “Uno” (figura 12) usa Atmel ATmega328, tiene 14 pines digitales pueden utilizarse como entradas o salidas y comunicación vía serie UART TTL.



Figura 12. Placa Arduino UNO.
Tomado de <http://arduino.cc/en/Main/ArduinoBoardUno>

El entorno de código abierto Arduino hace fácil escribir el código y cargarlo a la placa de E/S. Funciona en Windows, Mac OS X, Linux y Android. El entorno está escrito en Java y basado en Processing, avr-gcc y otros programas también de código abierto. Está constituido por un editor de textos para escribir el código, una área de mensajes, una consola de textos, una barra de herramientas con botones para las funciones comunes y una serie de menús. Permite la conexión con el hardware de Arduino para cargar los programas y comunicarse con ellos.

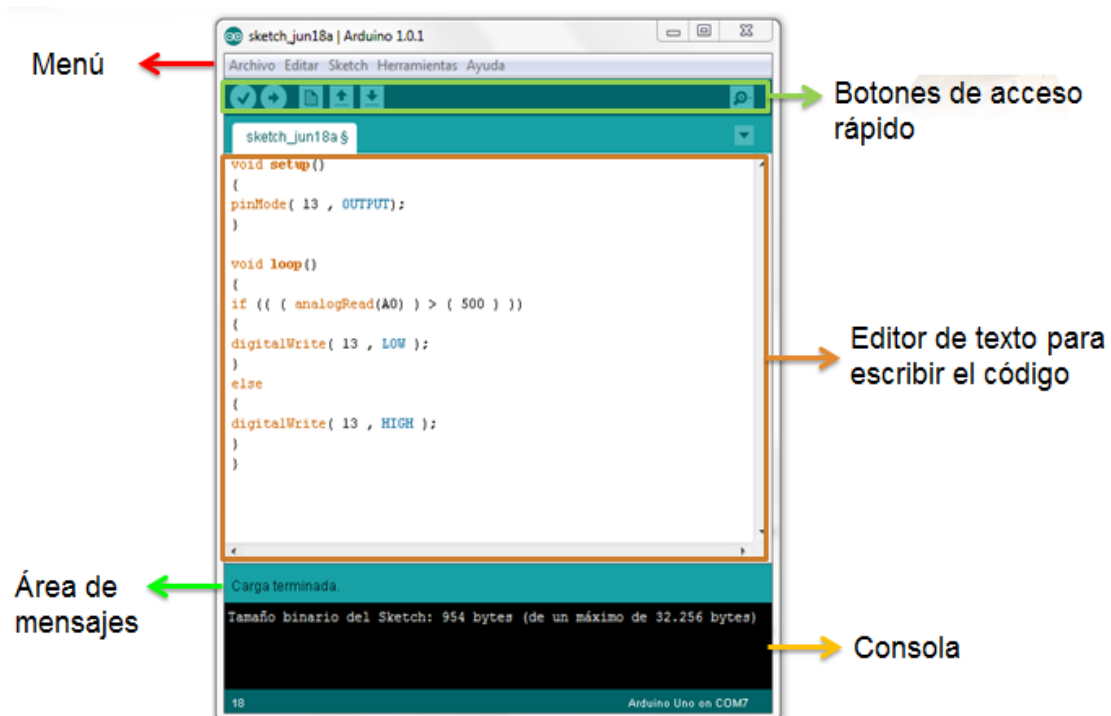


Figura 13. IDE para Arduino.

Tomado de: <http://solorobotica.blogspot.com/2012/07/programacion-de-arduino-elide-de.html>

5.2.5 Baterías

Los módulos HC-05 funcionan con un consumo de poder bajo, necesitan 3.6VDC pero en modo de trabajo necesitan de aproximadamente 100mA. Por las consideraciones antes mencionadas que deben cumplir los módulos localizadores, las baterías que alimenten a los módulos HC-05 deben darles el voltaje y corriente necesaria por el tiempo que dure una salida a campo. Se tuvo a consideración las baterías CR2032 (dos de ellas) y GPSSuper27A pero ninguna de las dos soporto la demanda de energía del HC-05 y además no son recargables, por lo que fueron descartadas.



Figura 14. Baterías CR2032 y GP Super27A respectivamente.

Tomado de <http://m.cordobavende.com/productos/ficha/2517843>, y <http://www.amazon.co.uk/Genuine-Super-EL812-BRONICA-1-Alarm-Alkaline-Batteries/dp/B00KQ2KQQU>

Se optó por las baterías GP NiMH T207 de 3.6VDC y 550mAh, ya que satisfacen las necesidades energéticas y su precio es bajo, se las encuentra en el mercado local hasta por USD 6,00. Estas baterías son recargables, ofreciendo al usuario la comodidad de no gastar en baterías. Para hacerlo se puede comprar un cargador de baterías universal con conectores molex.



Figura 15. Batería GP NiMH T207 de 3.6VDC y 550mAh.

Fuente: el autor.

5.2.6 Tecnología Bluetooth [12]

Es una tecnología inalámbrica para la comunicación en distancias cortas que se utiliza para implementar Redes Inalámbricas de Área Personal (WPAN) posibilitando la transmisión de voz y datos entre diferentes dispositivos mediante un enlace por radiofrecuencia en la banda ISM de los 2.4 GHz.

Bluetooth se denomina al protocolo de comunicaciones diseñado especialmente para dispositivos de bajo consumo, que requieren corto alcance de emisión y basados en transceptores de bajo costo.

Los dispositivos que incorporan este protocolo pueden comunicarse entre sí cuando se encuentran dentro de su alcance. Las comunicaciones se realizan por radiofrecuencia de forma que los dispositivos no tienen que estar alineados y pueden incluso estar en habitaciones separadas si la potencia de transmisión es suficiente. Estos dispositivos se clasifican como "Clase 1", "Clase 2" o "Clase 3" en referencia a su potencia de transmisión, siendo totalmente compatibles entre ellos. (Wikipedia La Enciclopedia Libre, 2016)

Tabla 2. Clasificación de los dispositivos Bluetooth por clases.
Tomado de: <https://es.wikipedia.org/wiki/Bluetooth>

| Clase | Potencia máxima permitida (mW) | Potencia máxima permitida (dBm) | Alcance (aproximado) |
|----------------|---------------------------------------|----------------------------------------|-----------------------------|
| Clase 1 | 100 mW | 20 dBm | ~100 metros |
| Clase 2 | 2.5 mW | 4 dBm | ~5-10 metros |
| Clase 3 | 1 mW | 0 dBm | ~1 metro |

Los dispositivos con Bluetooth también pueden clasificarse según su capacidad de canal:

Tabla 3. Clasificación de los dispositivos Bluetooth por su capacidad de canal.
Tomado de <https://es.wikipedia.org/wiki/Bluetooth>

| Versión | Ancho de banda (BW) |
|-------------------|----------------------------|
| Versión 1.2 | 1 Mbit/s |
| Versión 2.0 + EDR | 3 Mbit/s |
| Versión 3.0 + HS | 24 Mbit/s |
| Versión 4.0 | 32 Mbit/s |

Bluetooth soporta conexiones punto-punto o punto-multipunto, varias piconet (red informática cuyos nodos se conectan utilizando Bluetooth) pueden formarse en un ambiente común y no interferirse una a otra debido a la sincronización diferente que deben guardar.

Cada piconet puede tener un máximo de 8 dispositivos punto-punto, donde tan solo uno de ellos será el maestro, la siguiente Figura presenta los esquemas mencionados.

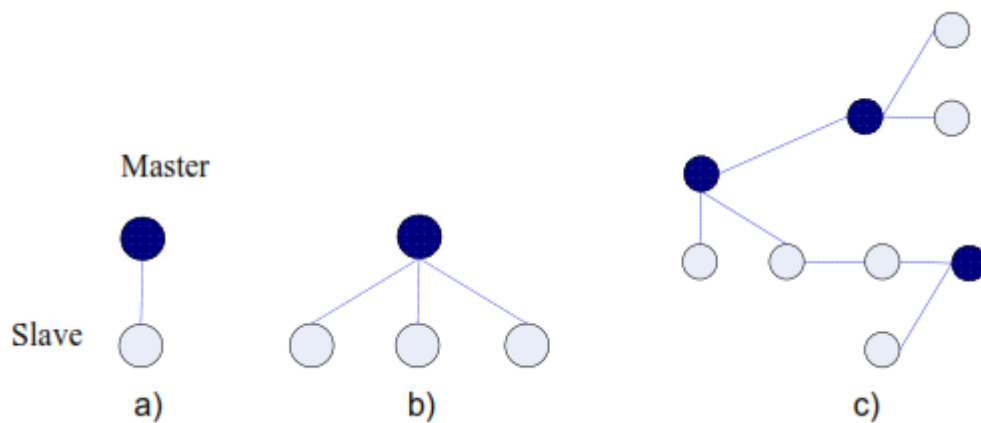


Figura 16. Posibles topologías en una red Bluetooth a) Piconet único esclavo. b) Piconet múltiples esclavos. c) Scatternet. Tomado de (Varela Burbano, 2007)

5.3 Elaboración del prototipo funcional

5.3.1 Desarrollo de la aplicación

Para desarrollar la aplicación del sistema prototipo se utilizó la plataforma de desarrollo MIT App Inventor 2. Se programó la aplicación para que presente tres pantallas, la primera es la carátula de la aplicación, en donde se verifica si el dispositivo móvil en el cual está corriendo dispone de un módulo Bluetooth, y si es así, verifica si éste está activado, si no lo está pide al usuario que lo active para continuar con la aplicación, caso contrario saldrá de ésta.

La segunda pantalla se llama Selector de Módulos – Infante Asociado. Permite al usuario ingresar los nombres de los niños en casillas respectivamente asignadas por cada número de módulo localizador, que el Educador asignó a cada uno de los niños. En este prototipo sólo se presentan 5 espacios o sólo se pueden ingresar hasta 5 módulos localizadores, la razón, es que éste es un sistema prototipo y se ha impuesto como objetivo sólo tres módulos localizadores, pero se han adicionado dos más en la aplicación sólo por fines demostrativos. A parte de ingresar los nombres de los niños en las casillas correspondientes a los módulos localizadores que llevan, se debe de seleccionarlos, caso contrario la aplicación asumirá que ese módulo no está disponible. Esto se lo hizo, teniendo en mente el uso de los módulos localizadores sin tener que respetar un orden numérico ascendente, sino que dependerá de cómo se organice el Educador y que número de módulos quiera utilizar.

Además se cuenta con tres botones, uno para limpiar la lista si así lo desea el usuario, otro botón que permite la salida de la aplicación sin grabar ningún dato y un tercer botón que informa a la aplicación que todo está listo y se desea pasar a la siguiente pantalla que es la monitorización de los módulos localizadores seleccionados.

Cabe mencionar que la lista se diseñó para que si el usuario no desea ingresar el nombre de los infantes, éste tiene la opción de solamente seleccionarlos y se guardará su selección con un nombre estándar de “Infante #”, siendo # el número correspondiente al respectivo módulo localizador.

La tercera pantalla es el “radar” o monitorización de los módulos localizadores, aquí se la diseñó para que presente la lista con los nombres de los niños y su respectivo módulo asociado, si el menor o el módulo está dentro del rango de cobertura de la señal Bluetooth del

dispositivo móvil del Educador éste, al establecer la conexión, indicará lógicamente su presencia con un fondo verde en la casilla donde está el nombre del infante, caso contrario, si el módulo no se conecta es porque está ausente y por lo tanto ha salido del radio de cobertura y se emitirá tres alarmas: una vibratoria, una sonora y una visual que consiste en poner el nombre del niño con fondo rojo.

Por cuestiones de emergencia se diseñó la aplicación con dos botones para este fin, el primero abrirá la libreta de contactos del Educador permitiendo llamar o mensajear al padre de familia o tutor responsable del menor o en casos graves, llamar al servicio de emergencias ECU911.

El diagrama de flujo de la aplicación para el dispositivo móvil del Educador se presenta en la siguiente figura:

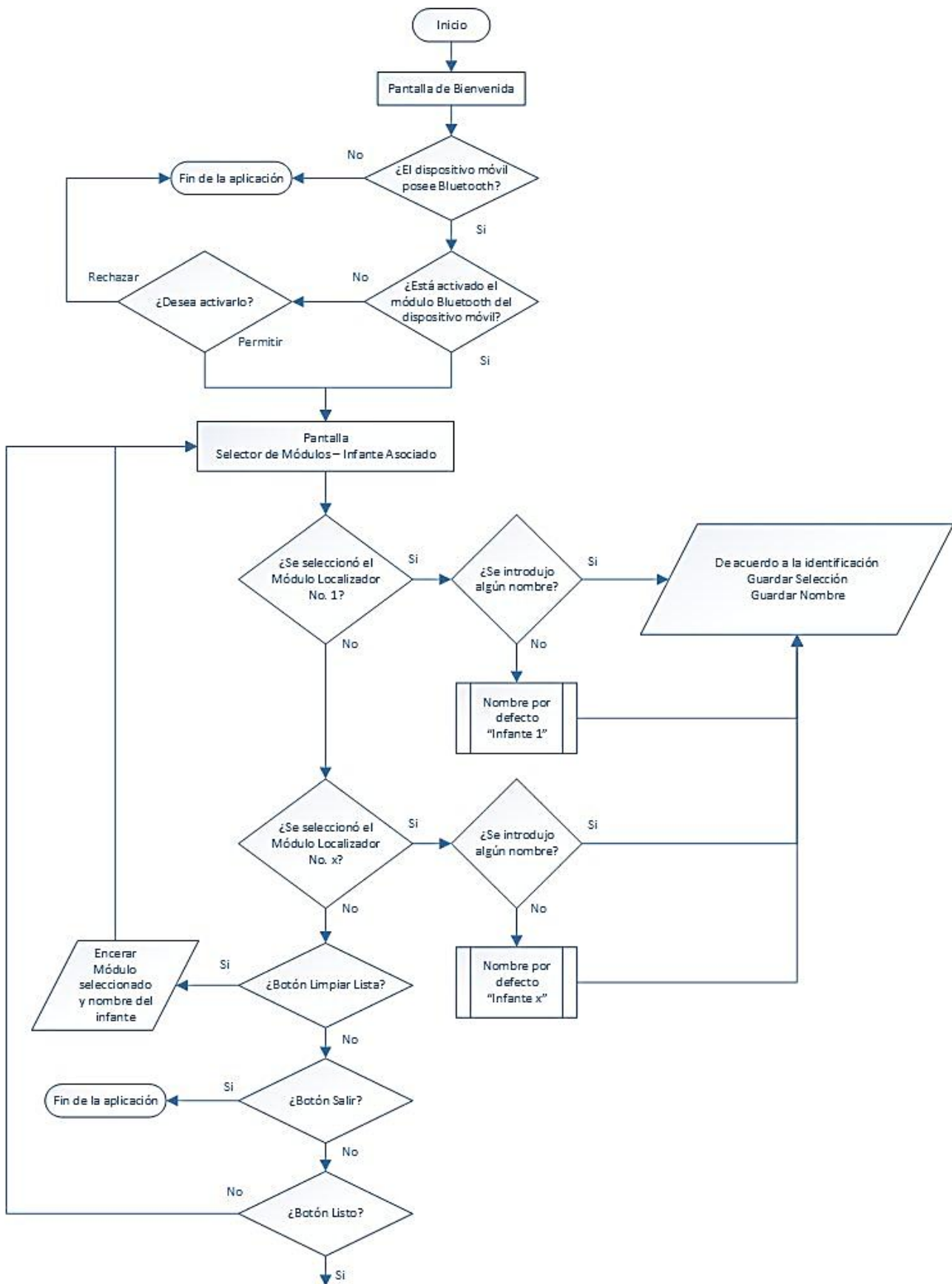


fig. 16 parte a)

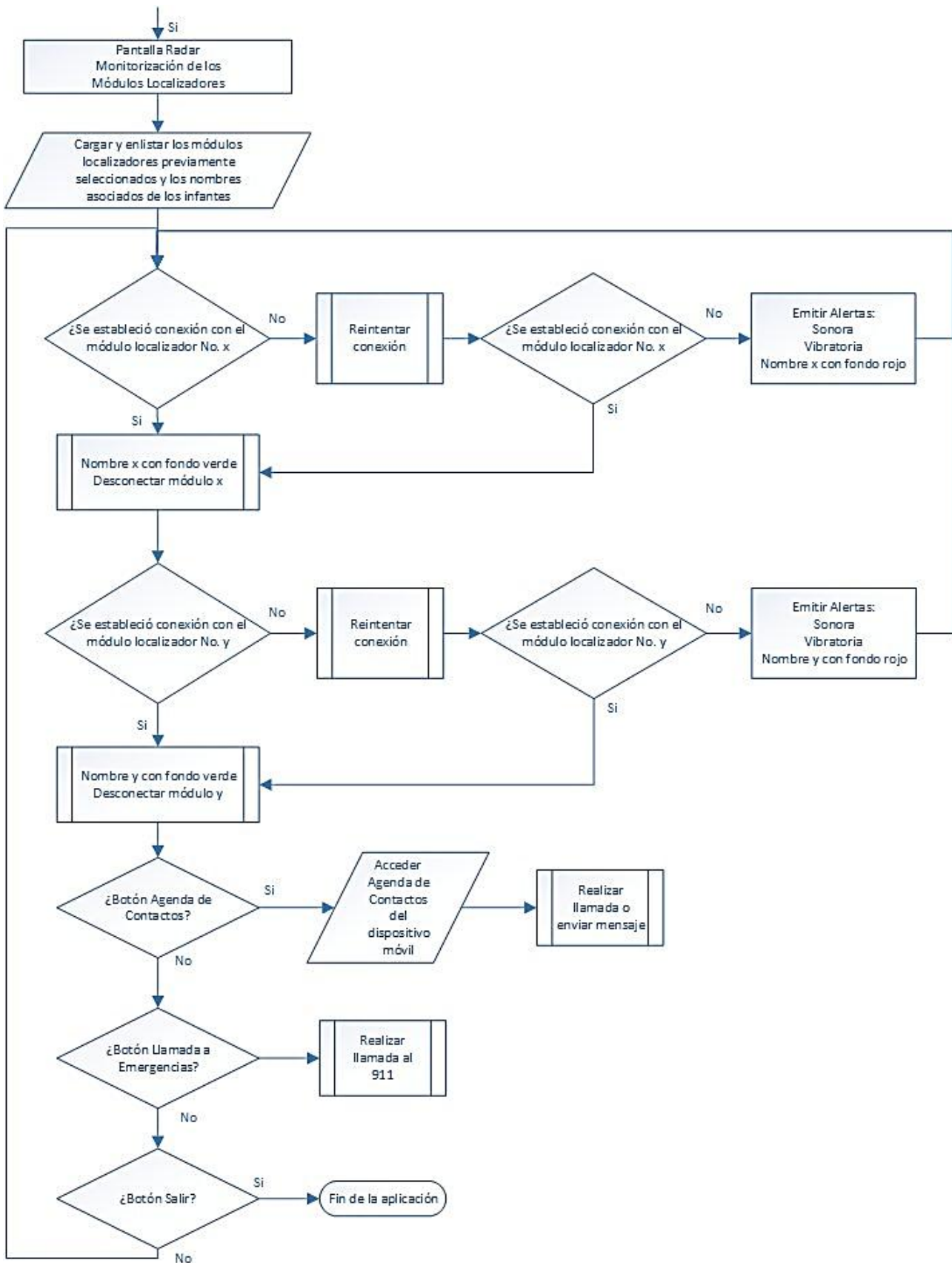


fig. 16 parte b)

Figura 17. Diagrama de flujo de la aplicación para el dispositivo móvil del Educador, del sistema FenceChild.

Fuente: el autor.

5.3.1.1 Programa de la aplicación

Se programó la aplicación en el entorno de desarrollo MIT App Inventor 2, se presenta a continuación las tres pantallas o interfaces que conforman la aplicación así como su respectiva programación en bloques.

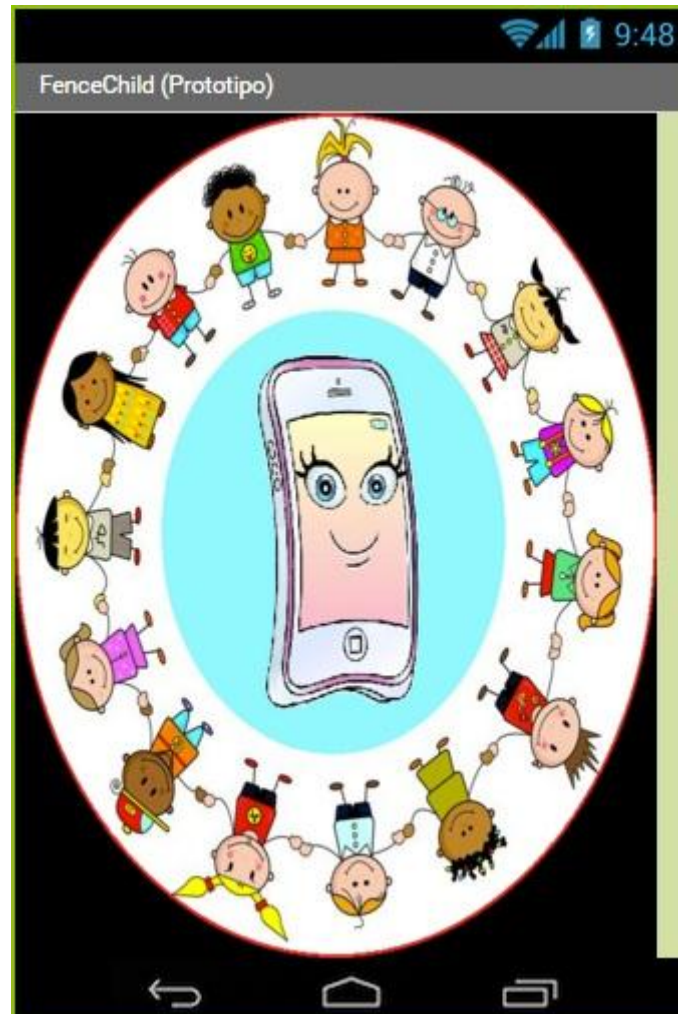


Figura 18. Pantalla Carátula de la aplicación para el dispositivo móvil del Educador, del sistema FenceChild.
Fuente: el autor.

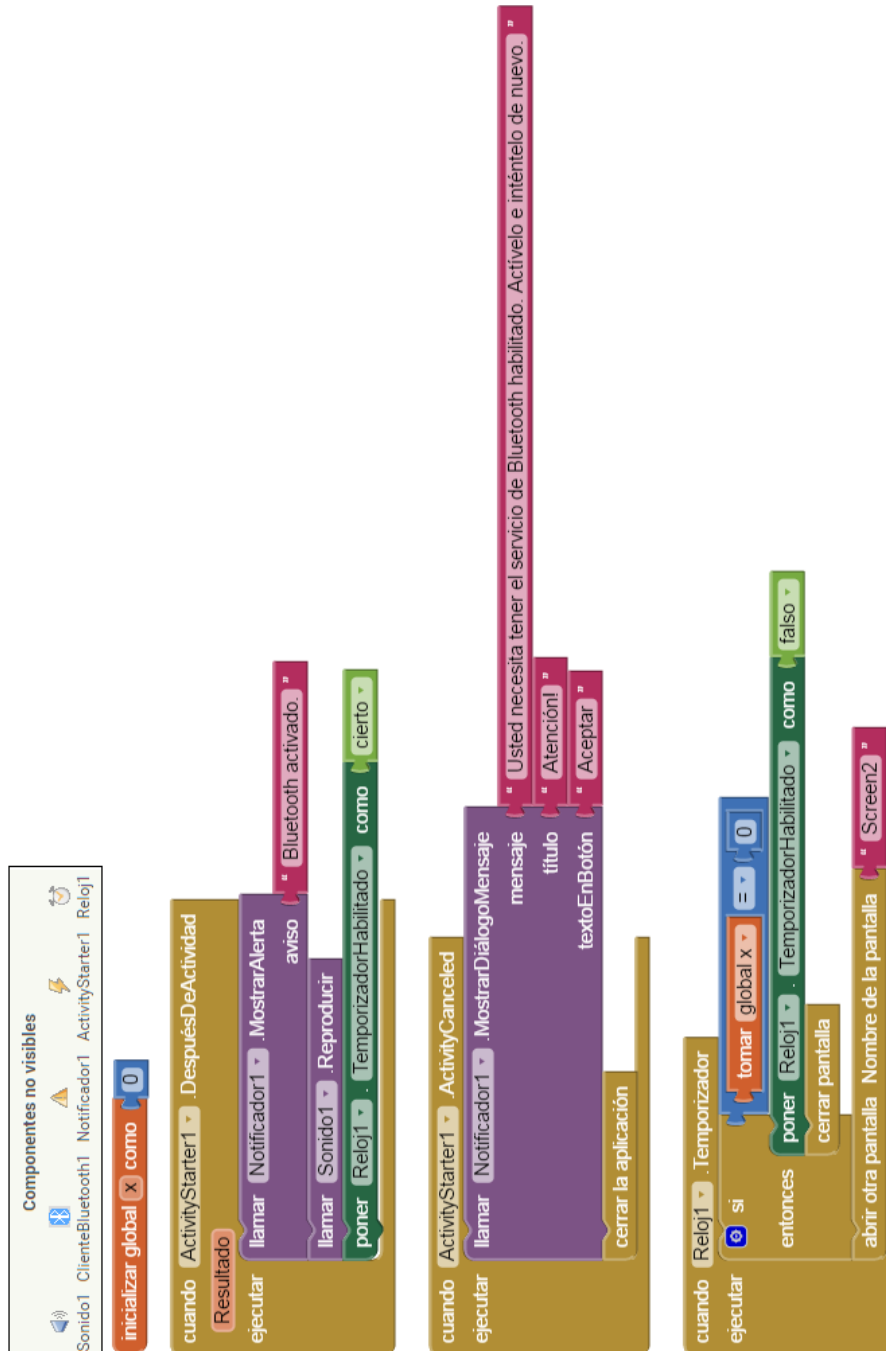


fig. 18 parte a)

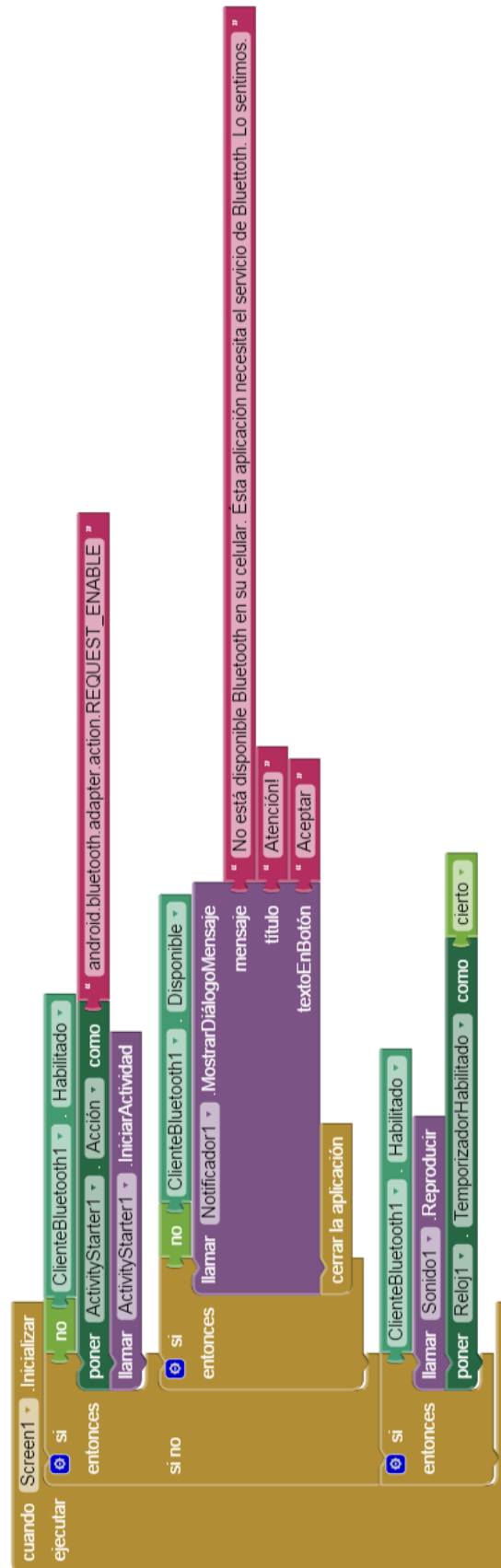


Fig. 18 parte b)

Figura 19. Programa de la Carátula de la aplicación para el dispositivo móvil del Educador, del sistema FenceChild.

Fuente: el autor.



Figura 20. Pantalla Selector Módulos – Infante Asociado de la aplicación para el dispositivo móvil del Educador, del sistema FenceChild.
Fuente: el autor.

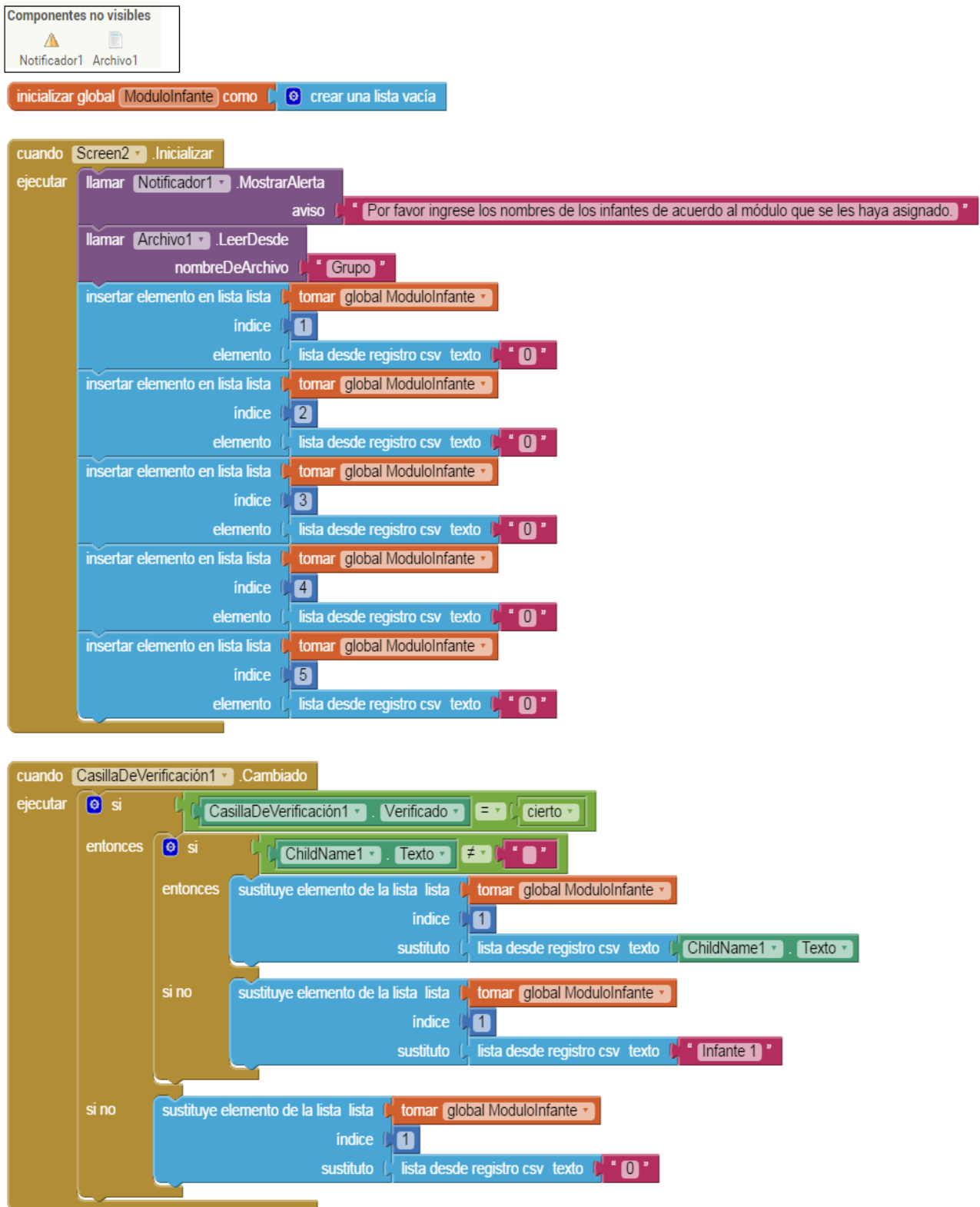


fig. 20 parte a)

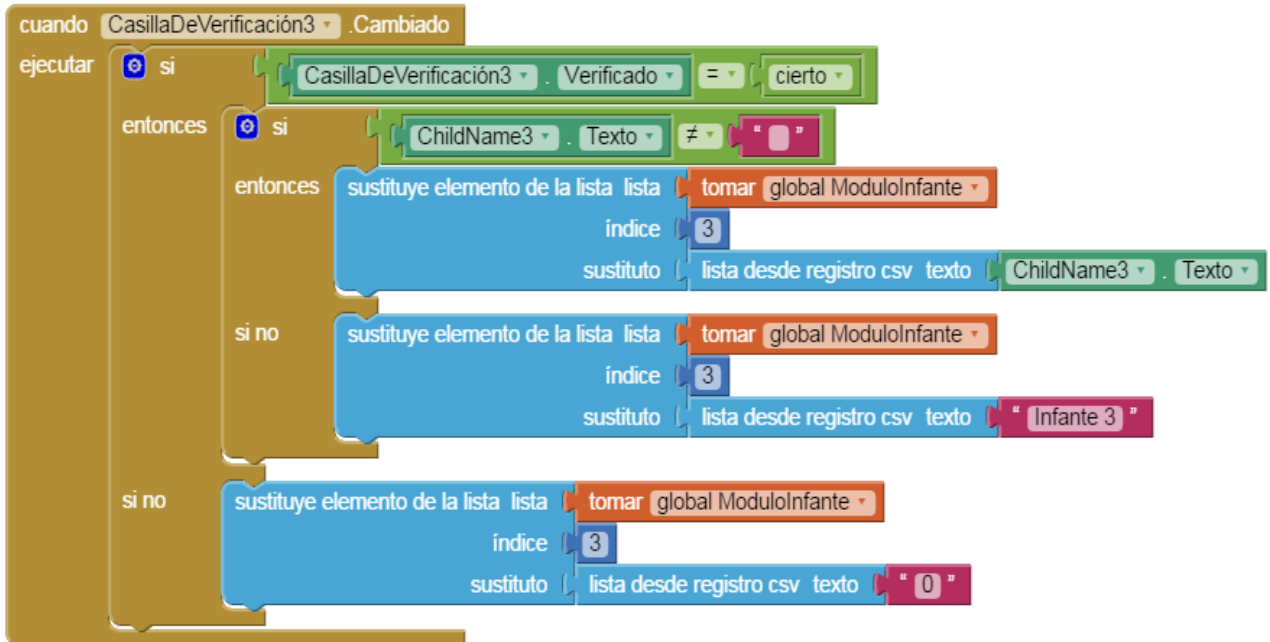
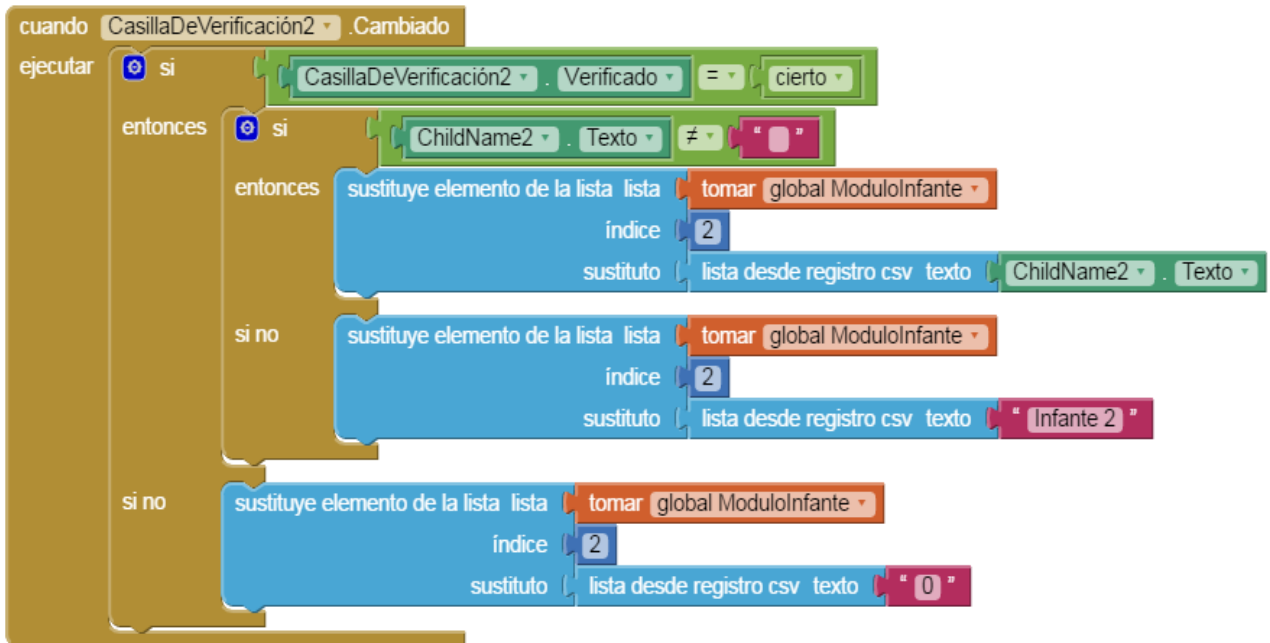


fig. 20 parte b)

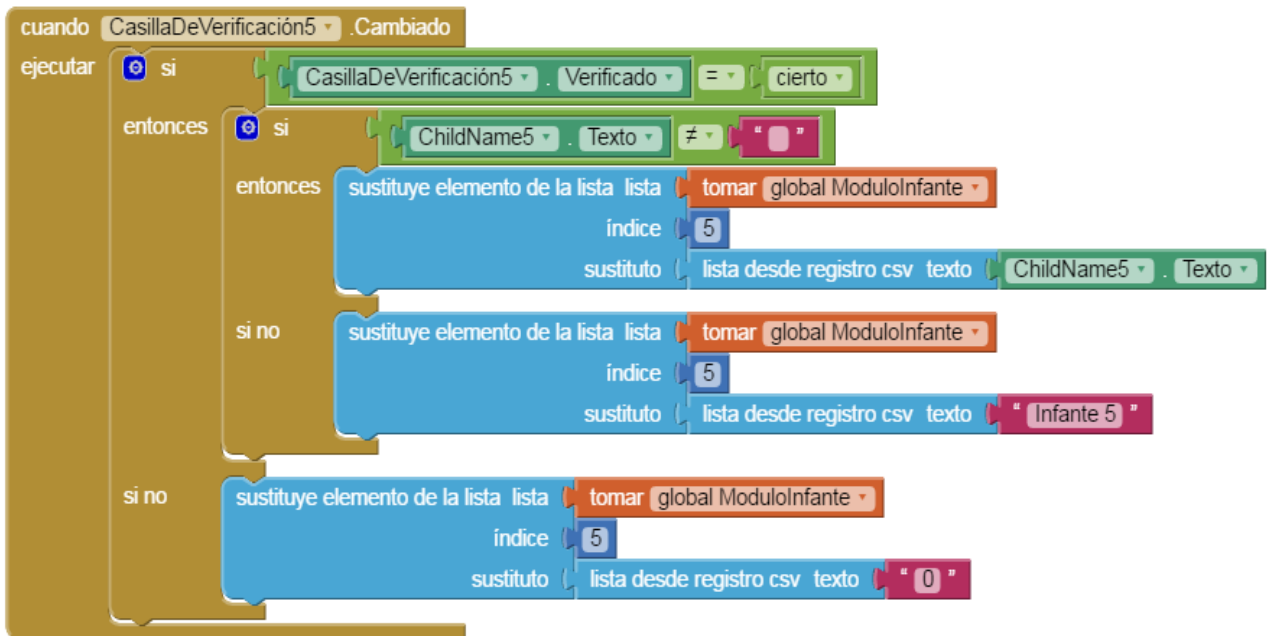
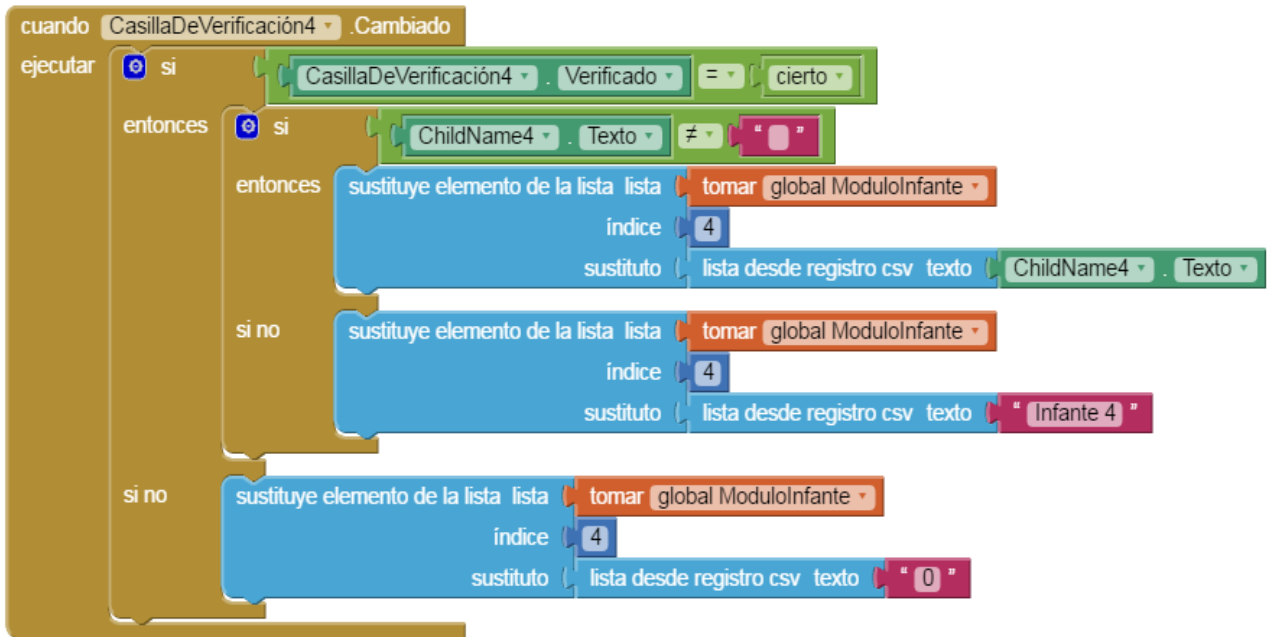


fig. 20 parte c)

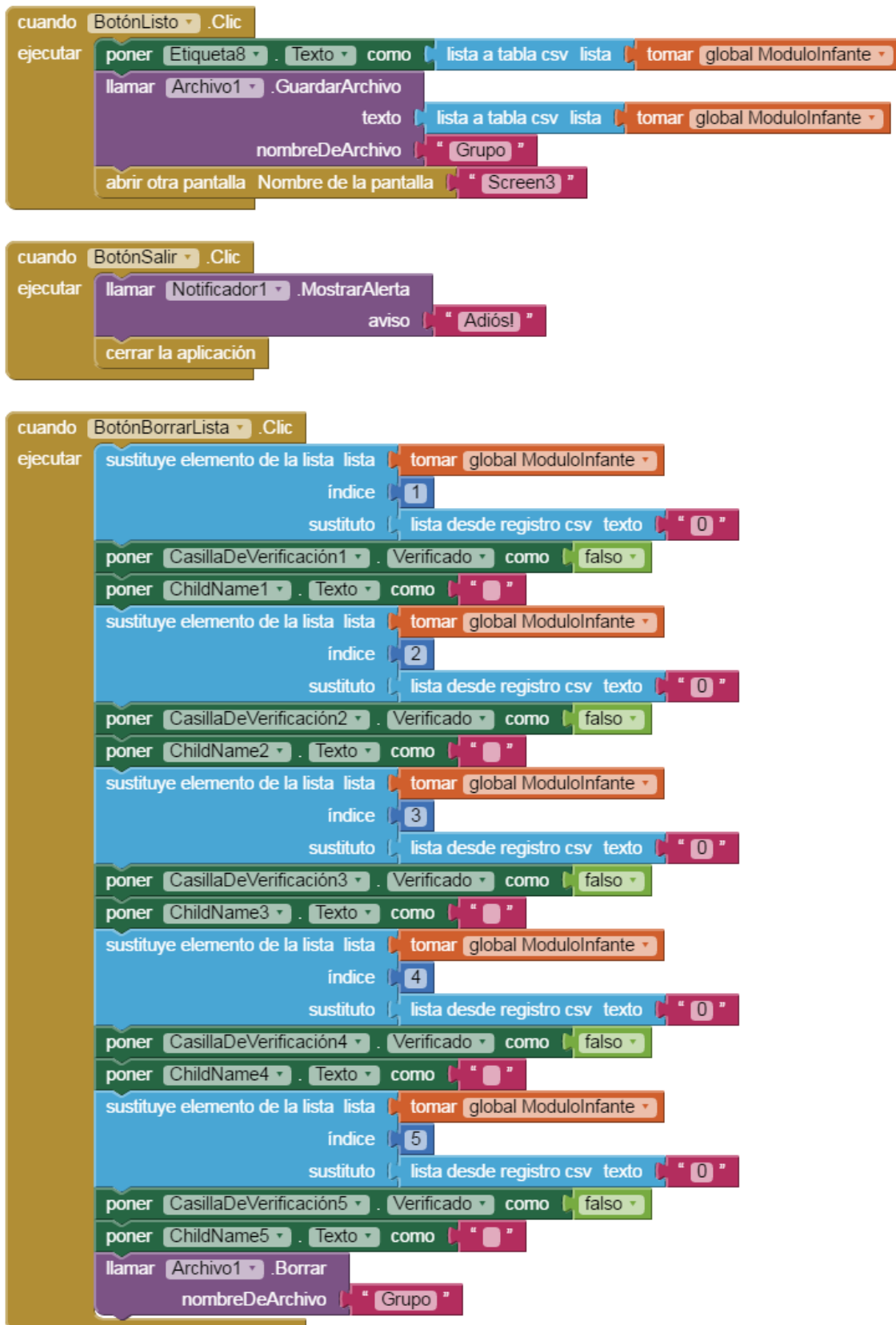


fig. 20 parte d)

Figura 21. Programa Selector Módulos – Infante Asociado de la aplicación para el dispositivo móvil del Educador, del sistema FenceChild.

Fuente: el autor.



Figura 22. Pantalla “Radar” o de Monitorización de los Módulos Localizadores de la aplicación para el dispositivo móvil del Educador, del sistema FenceChild.

Fuente: el autor.

Componentes no visibles

Archivo1 ClienteBluetooth1 Notificador1 Reloj1 LlamadaDeTfno1 Notificador2 Notificador3 Notificador4

Notificador5 Reloj2 Reloj3 Reloj4 Reloj5 Sonido1 ClienteBluetooth2 NotificadorSalir ClienteBluetooth3

ClienteBluetooth4 ClienteBluetooth5 RelojPreparacion Reloj0

inicializar global Vacio como crear una lista vacia

inicializar global ModuloInfante como crear una lista vacia

inicializar global Modulo1 como 0

inicializar global Modulo2 como 0

inicializar global Modulo3 como 0

inicializar global Modulo4 como 0

inicializar global Modulo5 como 0

inicializar global Tiempo como 0

inicializar global Tiempo2 como 1

cuando Screen3 .BotónAtrás
ejecutar llamar Sonido1 .Detener
abrir otra pantalla Nombre de la pantalla "Screen2"

cuando BotónEmergencia .Clic
ejecutar poner LlamadaDeTfno1 . NúmeroDeTeléfono como "0222526143"
llamar LlamadaDeTfno1 .LlamarPorTeléfono

cuando SelectorNúmeroTfno1 .DespuésDeSelección
ejecutar poner LlamadaDeTfno1 . NúmeroDeTeléfono como SelectorNúmeroTfno1 . NúmeroDeTeléfono
llamar LlamadaDeTfno1 .LlamarPorTeléfono

fig. 22 parte a)

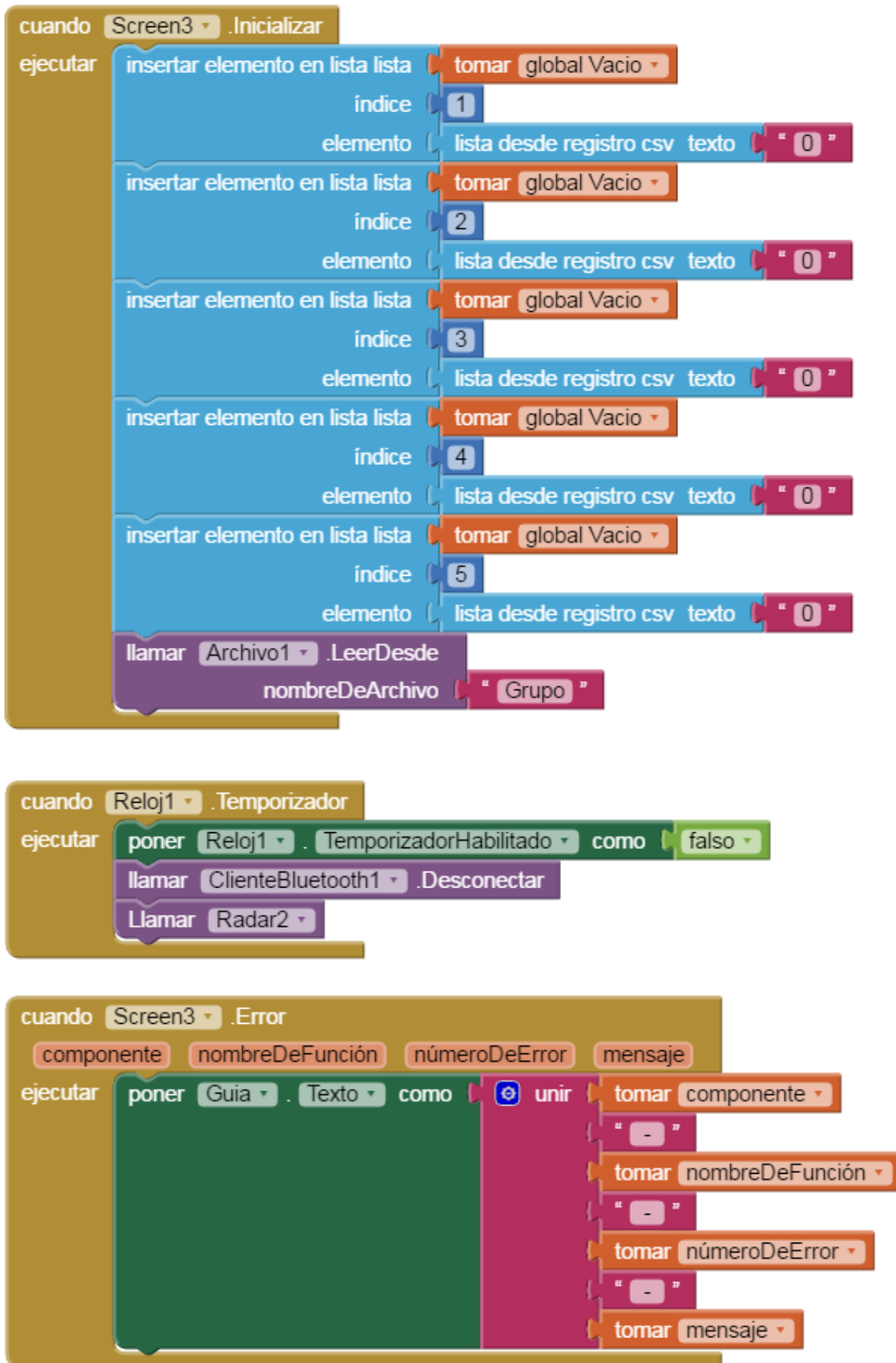


fig. 22 parte b)

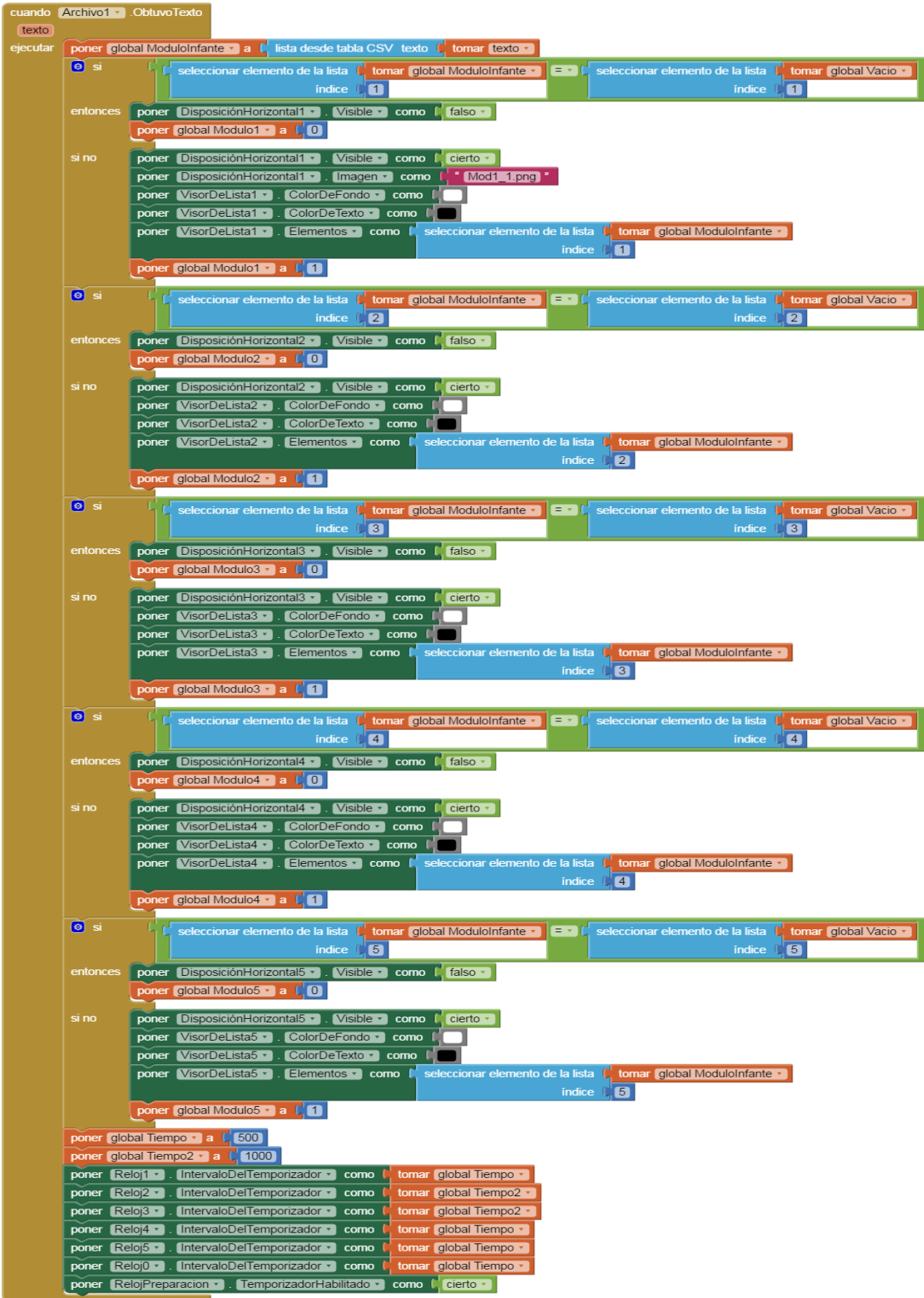


fig. 22 parte c)

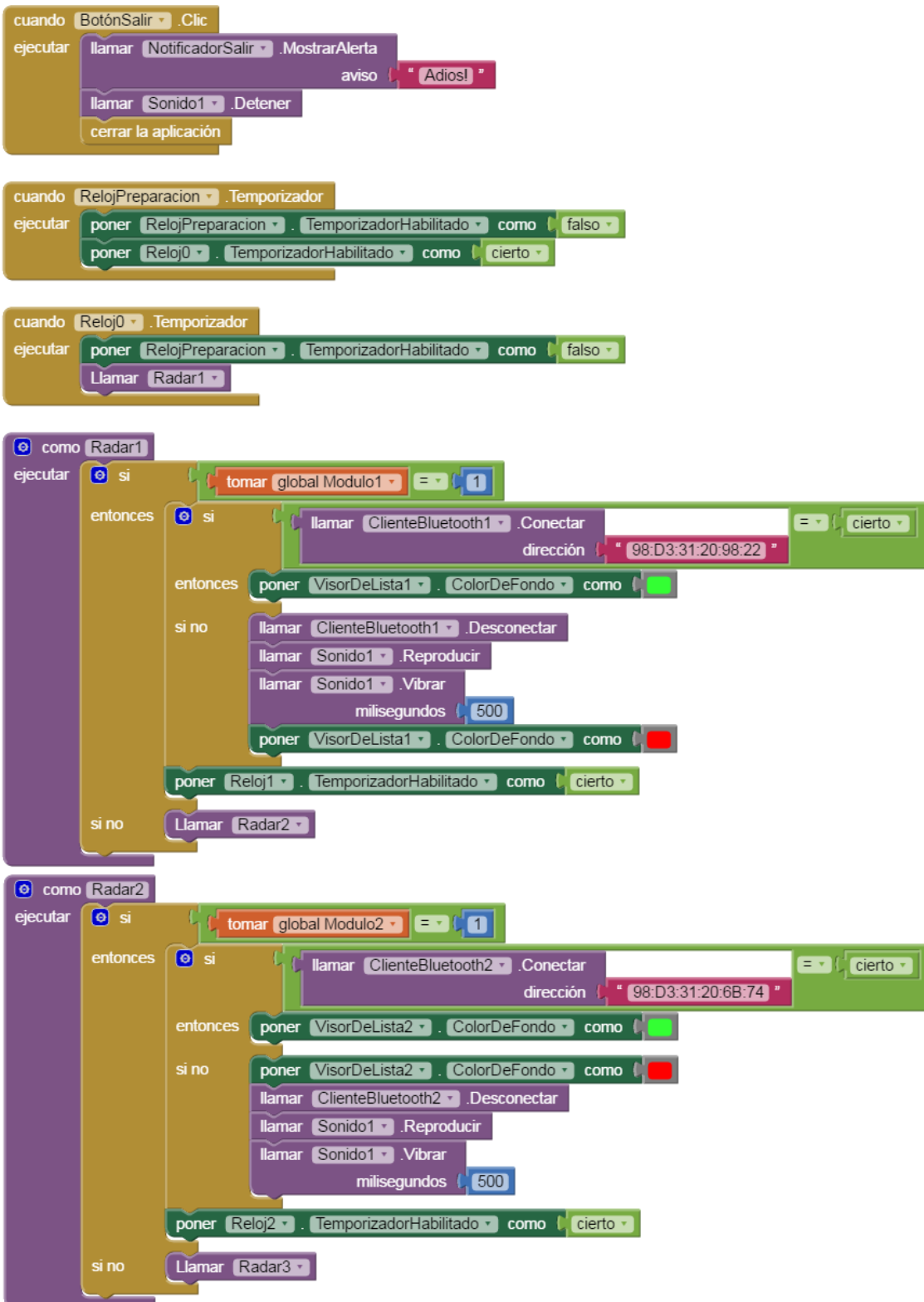


fig. 22 parte d)

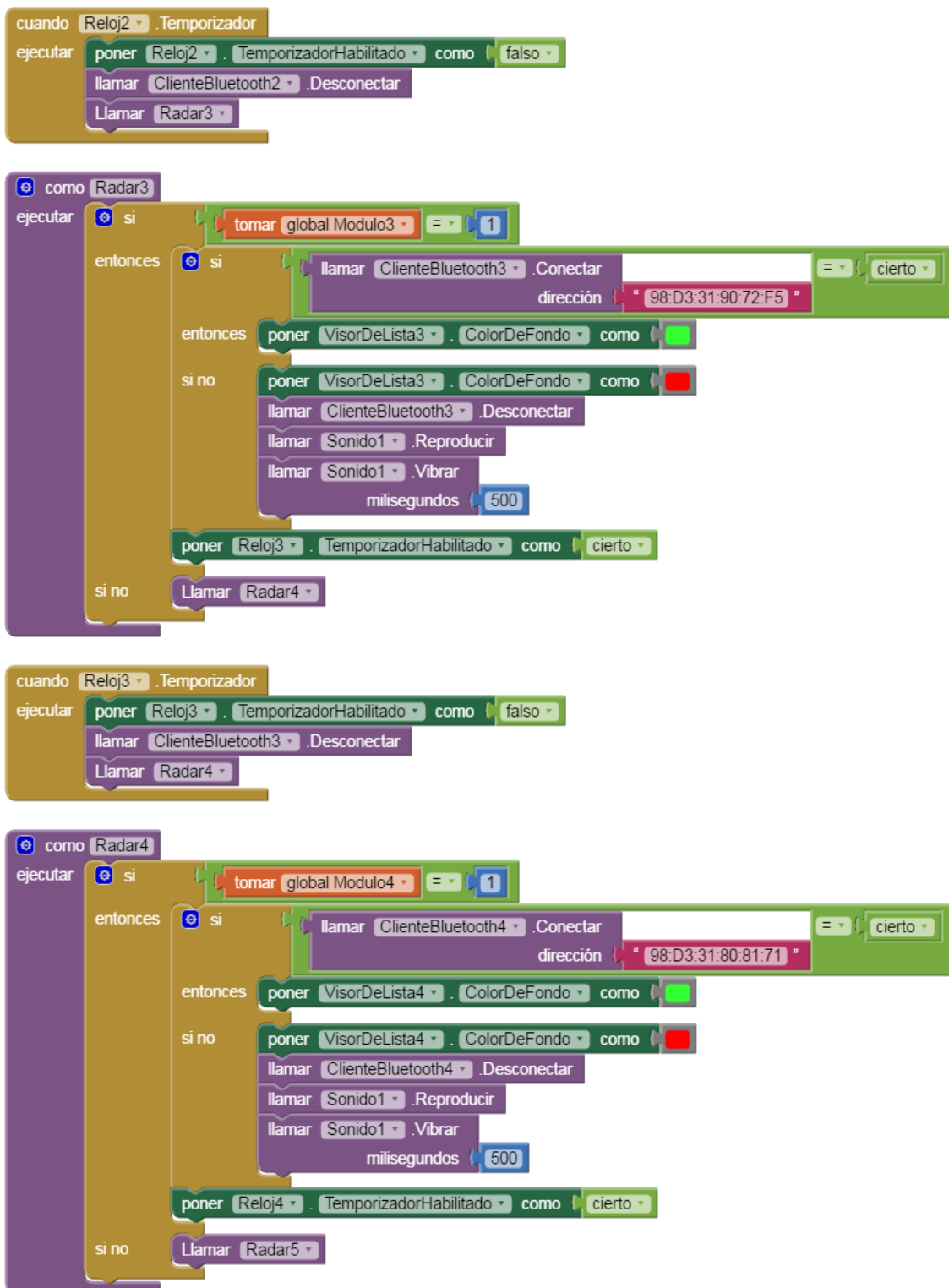


fig. 22 parte e)

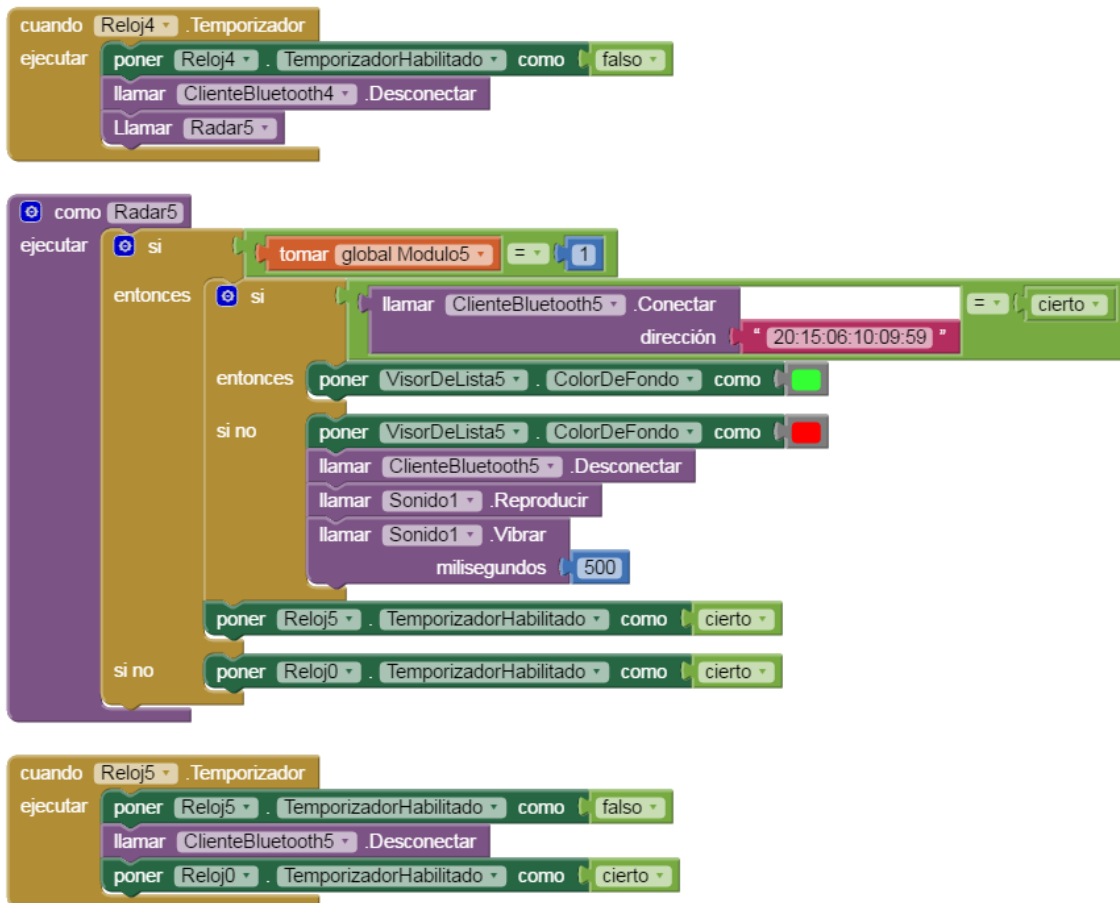


fig. 22 parte f)

Figura 23. Programa del “Radar” o del Monitorización de los Módulos Localizadores de la aplicación para el dispositivo móvil del Educador, del sistema FenceChild.

Fuente: el autor.

5.3.2 Implementación de los Módulos Localizadores

5.3.2.1 Configuración del módulo HC-05

Se utilizó la plataforma Arduino para la configuración de los módulos Bluetooth HC-05.

MATERIALES:

- 1 Arduino UNO
- 6 Resistencias de 220Ω 1/4Watio (rojo-rojo-café)
- Puentes
- 1 Módulo Bluetooth (HC-06 / HC-05);

La siguiente figura muestra el diagrama de conexión para la configuración de los éstos módulos. Para la elaboración de este diagrama esquemático se utilizó el simulador de electrónica online 123D Circuits [13].

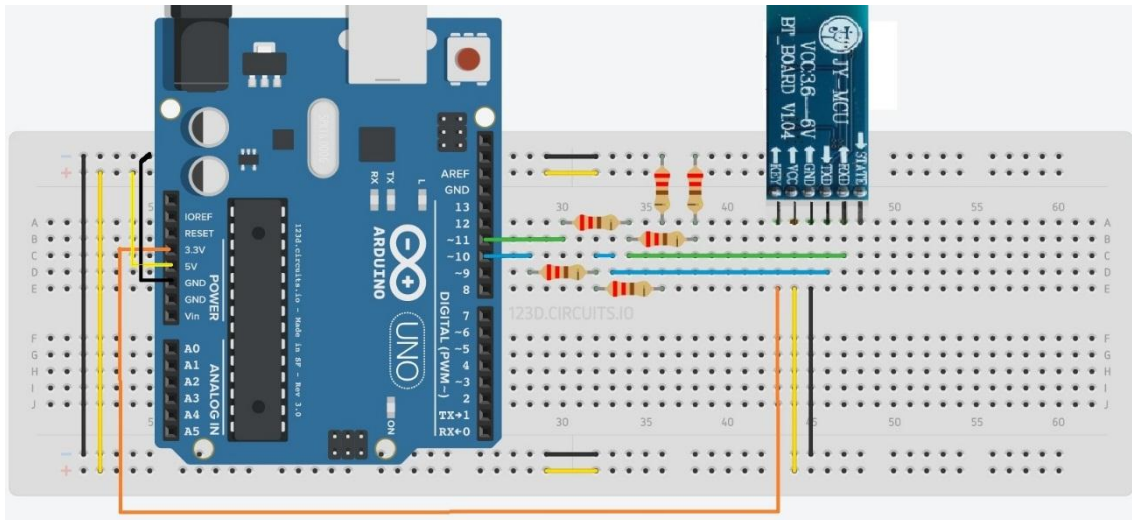


Figura 24. Diagrama de conexiones de la placa Arduino al módulo Bluetooth HC-05 para su configuración.
Fuente: el autor.

El módulo HC-05 dispone de 4 pines para conectar a Arduino, para ser configurados, los pines son:

- RXD
- TXD
- VCC
- GND

RXD recibirá los datos de Arduino; TXD enviará información al Arduino; VCC es la fuente de alimentación (3,3VDC a 6VDC, se recomienda 5VDC) y GND es tierra.

El pin del Arduino que se usa para transmitir (TX) enviará una señal de 5VDC, pero el nivel RXD (recepción de datos) funciona sólo con 3,3VDC, entonces se necesita un divisor de tensión.

Se debe presionar el botón Reset del HC-05 para que ingrese a su modo de configuración.

Código para Arduino

El sketch para la configuración es muy simple, todo lo que tiene que hacer es comprobar en el puerto serie si hay datos disponibles, y estos datos comandos AT que le dicen al módulo como trabajar.

```

/*
AUTHOR: Hazim Bitar (techbitar)
DATE: Aug 29, 2013
LICENSE: Public domain (use at your own risk)
CONTACT: techbitar at gmail dot com (techbitar.com)

Revision: Ing. Fabrizio Villasis
*/

#include <SoftwareSerial.h>

SoftwareSerial BTSerial(10, 11); // RX | TX

void setup()
{
  pinMode(9, OUTPUT); // this pin will pull the HC-05 pin 34
  digitalWrite(9, HIGH); //(key pin) HIGH to switch module to AT mode
  Serial.begin(9600);
  Serial.println("Enter AT commands:");
  BTSerial.begin(38400); // HC-05 default speed in AT command mode
}

void loop()
{
  // Keep reading from HC-05 and send to Arduino Serial Monitor
  if (BTSerial.available())
    Serial.write(BTSerial.read());

  // Keep reading from Arduino Serial Monitor and send to HC-05
  if (Serial.available())
    BTSerial.write(Serial.read());
}

```

Figura 25. Programa para la placa Arduino que permite la comunicación con el módulo HC-05 para su configuración por comandos AT.

Fuente: el autor.

Realizado la conexión del circuito, se conectó el Arduino a la PC, se cargó el programa en el Arduino, y se utilizó el Monitor Serie del IDE Arduino para introducir los comandos AT respectivos, como se ilustra a continuación:

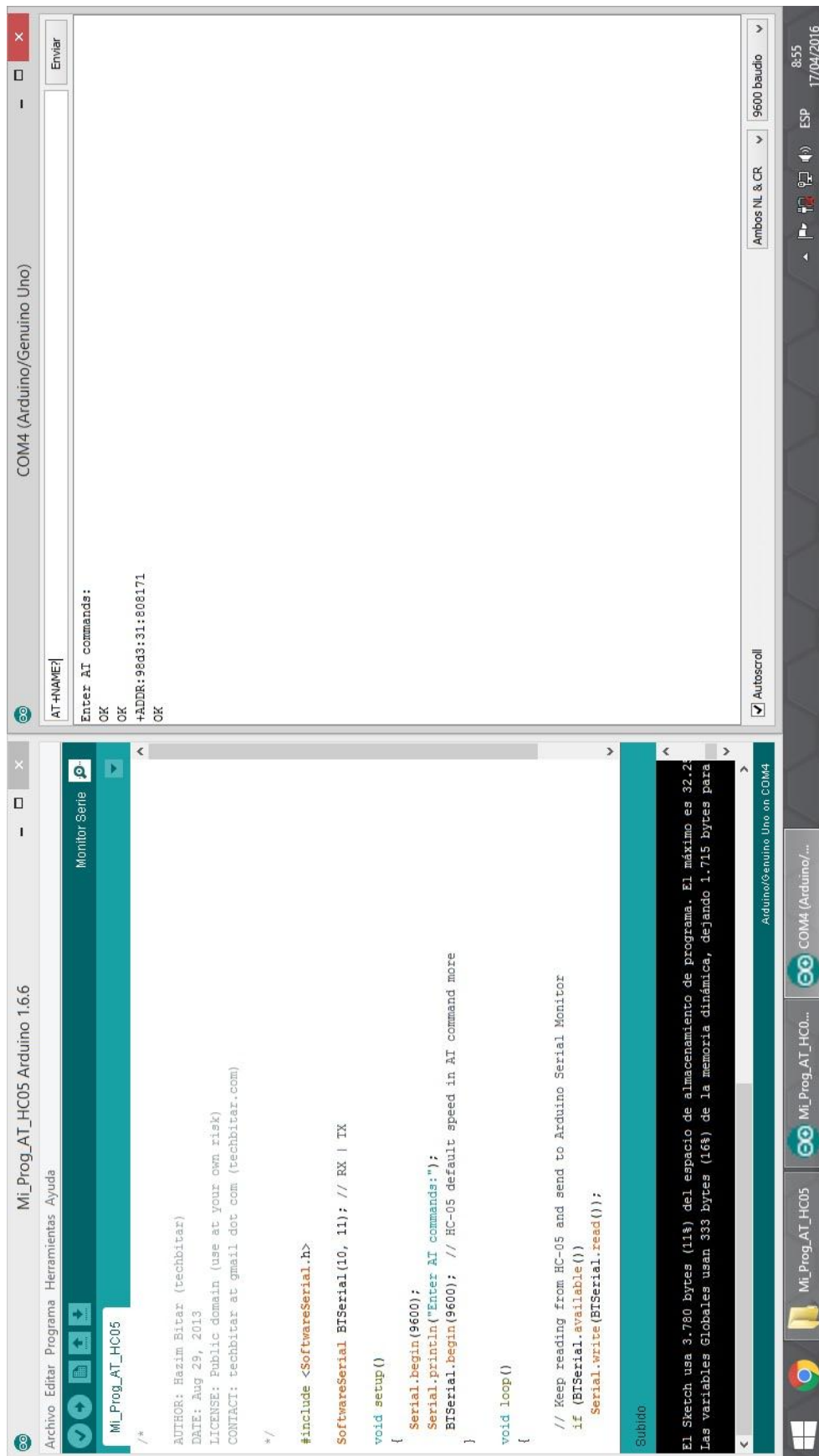


Figura 26. IDE Arduino y su Monitor Serie, que permite ingresar los comandos AT para configurar al módulo Bluetooth HC-05.

Fuente: el autor.

La siguiente tabla muestra los comandos AT que se utilizaron para la configuración de los módulos HC-05:

Tabla 4. Comandos AT utilizados para la configuración de los módulos HC-05. Fuente: el autor.

| Comando AT | Descripción | Resultado Esperado |
|-------------------|-------------------------------------------------------------------------------|----------------------------|
| AT | Comando de prueba de comunicación. | OK |
| AT+ADDR? | Obtener la dirección MAC del módulo. | +ADDR:1234:56:ABCDEF OK |
| AT+NAME=CHILD1 | Establecer el nombre del módulo. | OK |
| AT+ROLE=0 | Establecer el modo de funcionamiento del módulo como Esclavo. | OK |
| AT+PSWD=7131 | Establecer el código PIN. | OK |
| AT+UART=9600,0,0 | Establecer la comunicación serial a 9600baud, sin bit de parada, sin paridad. | OK |
| AT+INIT | Inicializar la librería SPP. | - |
| AT+RESER | Resetear el módulo. | OK |

La siguiente tabla muestra la configuración establecida para los 3 módulos Bluetooth HC-05 aunque solo dos forman parte de éste sistema prototipo. Cabe señalar que todos los módulos fueron configurados como Esclavos y con una velocidad de comunicación de 9600 baudios, con 8 bits de datos, sin bit de parada y sin paridad.

Tabla 5. Configuraciones establecidas y conseguidas de los módulos Bluetooth HC-05. Fuente: el autor.

| No. Módulo | Nombre | MAC | PIN |
|------------|--------|-------------------|------|
| 1 | CHILD1 | 98:D3:31:20:98:22 | 7131 |
| 2 | CHILD2 | 98:D3:31:20:6B:74 | 7132 |
| 3 | CHILD3 | 98:D3:31:90:72:F5 | 7133 |

Es importantísimo recalcar que con la obtención de las direcciones MAC de cada módulo Bluetooth HC-05 se programa la aplicación del dispositivo móvil para su auto-conexión con estos.

5.3.2.2 Diagrama de conexiones del Módulo Localizador

Para la elaboración de los diagramas presentados en este caso de estudio se utilizó Microsoft Office Visio Profesional 2013 que permite hacer desde diagramas de bloques, flujos hasta conexiones eléctricas.

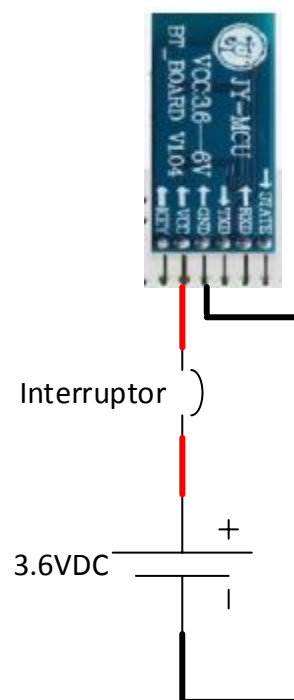


Figura 27. Diagrama de conexiones del Módulo Localizador. Fuente: el autor.

5.3.2.3 Construcción del Módulo Localizador

Cada Módulo Localizador está conformado por:

- Un módulo Bluetooth HC-05.
- Una Batería de 3.6VDC 550mAh.
- Un interruptor.
- Un pequeño bolso con impermeable, de 9x9cm .

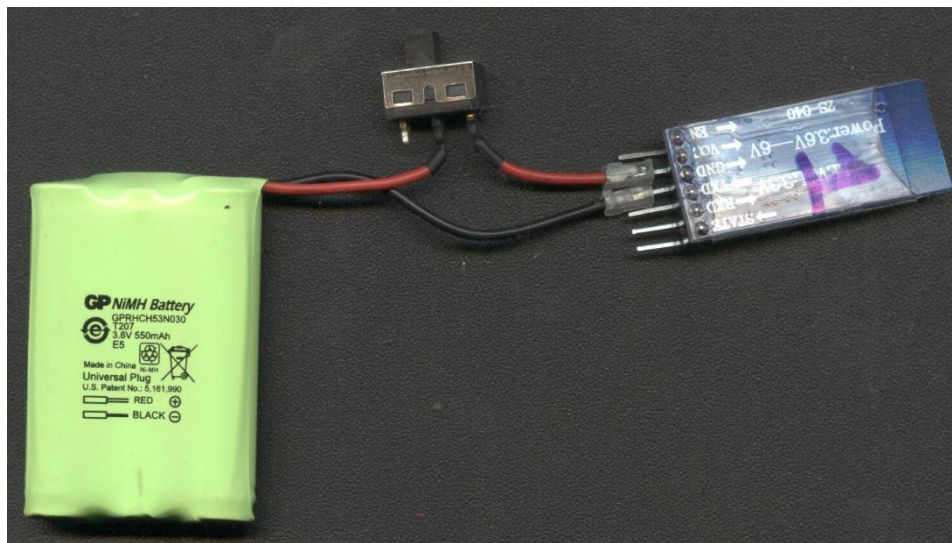


Figura 28. Módulo Localizador.
Fuente: el autor.



Figura 29. Bolsa contenedora del Módulo Localizador y para que el infante lo lleve asegurado en sus ropas.
Fuente: el autor.

5.4 Pruebas de Funcionamiento del Sistema

Las pruebas se realizaron para verificar el funcionamiento del Sistema Prototipo Inalámbrico de Cerca Virtual con Tecnología Bluetooth y Android para el cuidado de niños; esto incluye: verificación de la aplicación para el dispositivo móvil del Educador y la verificación del funcionamiento de los módulos localizadores que llevan los infantes; finalmente el monitoreo por parte de la aplicación a cada uno de los localizadores.

Las pruebas fueron realizadas por el autor y un grupo de niños familiares.

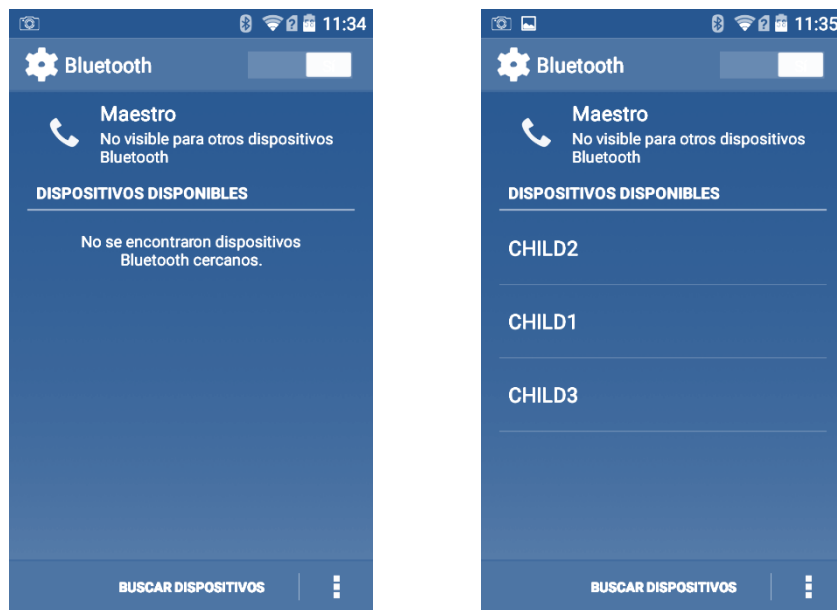
5.4.1 Pruebas del Funcionamiento de la Aplicación para el dispositivo móvil del Educador

Para verificar el funcionamiento de la Aplicación, se realizó el siguiente procedimiento, tomando en cuenta los pasos a seguir por el usuario:

5.4.1.1 Emparejamiento de los Módulos Localizadores con el Dispositivo Móvil del Educador

- 1) Activar el Bluetooth del dispositivo móvil del Educador.
- 2) Emparejar los módulos localizadores de uno por uno, para ello:

a) Se puede buscar los dispositivos con la aplicación nativa Bluetooth de Android:



a)

b)

Figura 30. a) Buscar dispositivos Bluetooth cercanos. b) Dispositivos encontrados.

Fuente: el autor.

Y luego se selecciona uno por uno para ingresar su respectivo PIN:



a)

b)

Figura 31. a) Ingreso del respectivo PIN para emparejamiento de los dispositivos. b) Dispositivos emparejados o vinculados.

Fuente: el autor.

- b) Se puede utilizar una aplicación de emparejamiento Bluetooth, como por ejemplo Bluetooth Pair [3]:

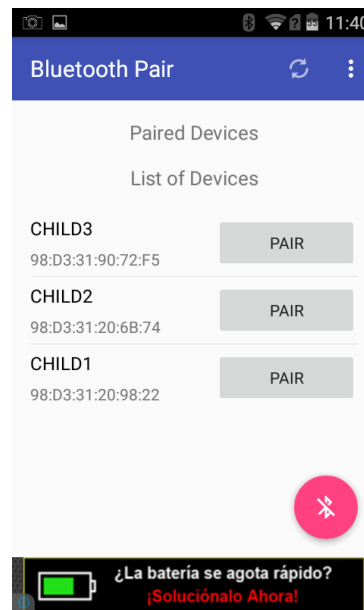
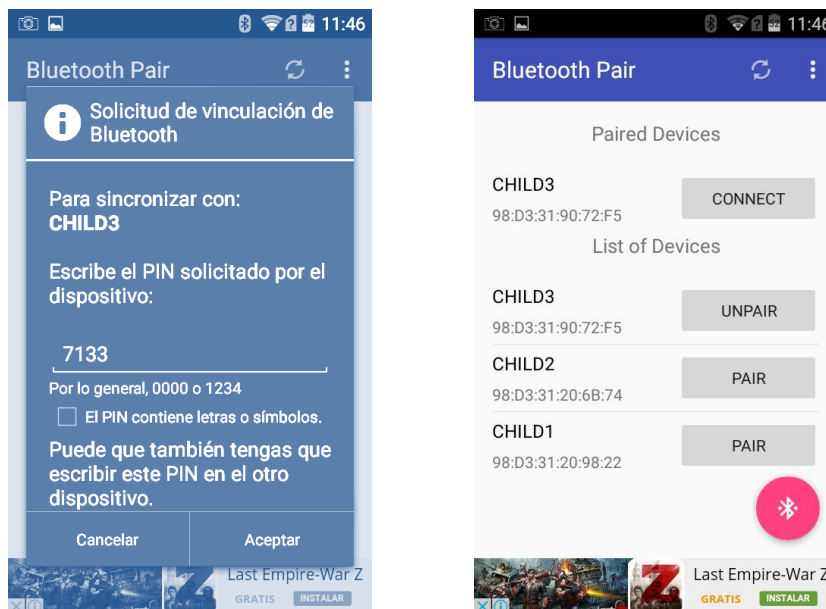


Figura 32. Aplicación “Bluetooth Pair” para vincular a dispositivos Bluetooth.
Fuente: el autor.

Y luego seleccionarlos uno por uno e ingresar su respectivo PIN:



a)

b)

Figura 33. a) Ingreso del respectivo PIN para emparejamiento de los dispositivos. b) Dispositivos emparejados o vinculados utilizando la aplicación “Bluetooth Pair”.

Fuente: el autor.

Consideraciones verificadas:

- Antes de usar la Aplicación de monitoreo, se deben de emparejar o vincular el dispositivo móvil del Educador, sea éste un teléfono celular o tableta inteligente, con los Módulos Localizadores.
- Se verificó que los módulos están correctamente configurados al encontrarlos por sus respectivos nombres y vincularse con el PIN configurado en cada uno de ellos.
- Para emparejar el dispositivo móvil con los módulos localizadores se pueden utilizar indistintamente las dos alternativas, sea utilizando la función nativa de Android o la aplicación sugerida Bluetooth Pair. En ambos casos se verificó y comprobó su correcto funcionamiento, emparejando a todos los dispositivos.



Figura 34. Todos los módulos localizadores emparejados o vinculados con el dispositivo móvil del Educador.
Fuente: el autor.

5.4.1.2 Instalación de la Aplicación en el Dispositivo Móvil del Educador

Para verificar la instalación de la Aplicación, se realizó el siguiente procedimiento, tomando en cuenta los pasos a seguir por el usuario:

- 1) Es necesario tener en el teléfono o tableta inteligente una copia del archivo instalador apk de la aplicación, llamado ***“FenceChildv13.apk”***. Como es una versión prototipo, éste no está disponible en una cuenta de Google Play Store. Además, es deseo del autor que en un futuro se comercialice el sistema, por lo tanto el usuario, al adquirir éste, se le debe dar instalando la aplicación.

- 2) Se debe configurar el dispositivo móvil para que permita la instalación de aplicaciones provenientes de fuentes desconocidas. Nuevamente, éste hecho se da por ser una versión prototipo. Para ello, en el sistema operativo Android, hay que dirigirse a *Configuración / Seguridad* y habilitar la opción *Fuentes desconocidas*.

- 3) En el *Administrador de Archivos* de Android, se debe dirigir a la carpeta en dónde se copió el archivo instalador, se selecciona y se procede a instalar la aplicación.

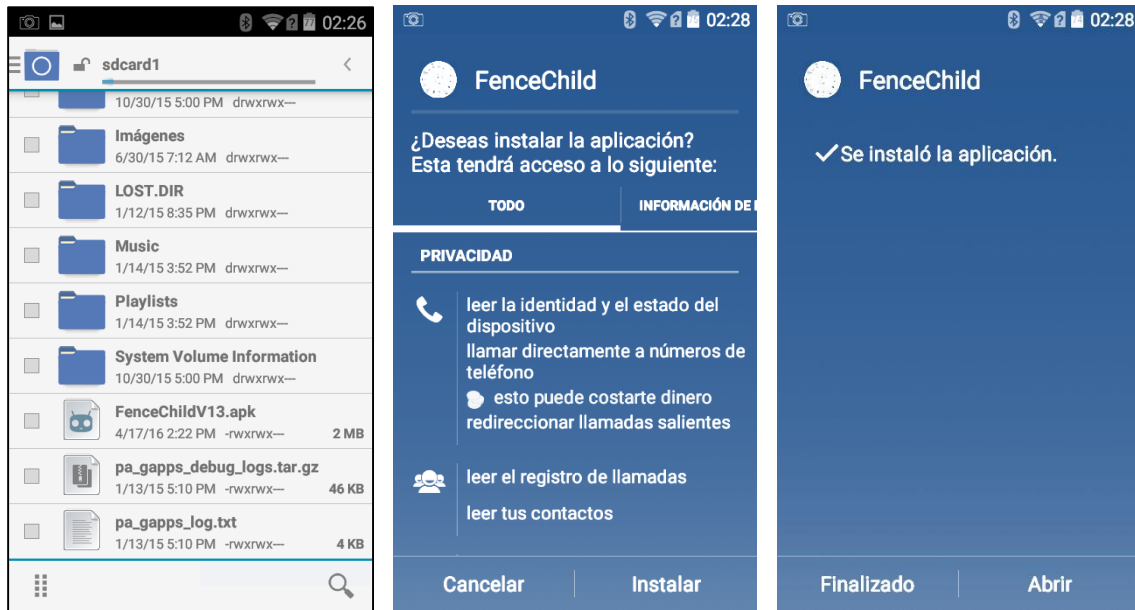


Figura 35. Instalación de la Aplicación FenceChild.
Fuente: el autor.

Consideraciones verificadas:

- La Aplicación se instaló correctamente en varios dispositivos móviles, que contaban con el sistema operativo Android, sin importar su versión de API.
- Se instaló la Aplicación en sistemas con versiones Android 4.0.x Ice Cream Sandwich, Android 4.3 Jelly Bean, Android 4.4 KitKat y Android 5.0 Lollipop. En todas estas versiones la instalación de la aplicación FenceChild.apk no tuvo inconvenientes.

5.4.1.3 Monitoreo de los Módulos Localizadores con el Dispositivo Móvil del Educador

Estas pruebas se realizaron con el objetivo de validar el funcionamiento de la cerca virtual y para verificar el monitoreo de los Módulos Localizadores por parte de la Aplicación instalada en el dispositivo móvil del Educador, para ello, se realizó el siguiente procedimiento, tomando en cuenta los pasos a seguir por el usuario:

- 1) Ejecutar la Aplicación.
 - a) Permitir la activación de Bluetooth.



a)

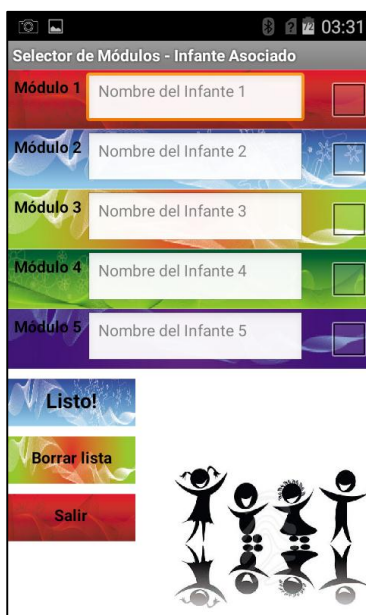


b)

Figura 36. a) Pantalla carátula de la aplicación. b) Si está desactivado el Bluetooth se le pide al usuario activarlo para seguir con la aplicación.

Fuente: el autor.

- 2) Ingresar los nombres de los niños según el módulo localizador que lleven consigo. El usuario puede dejar la casilla vacía si así lo desea.



a)



b)

Figura 37. a) Pantalla que permite ingresar los nombres de los niños de acuerdo al número de módulo localizador que se le asignó. b) 4 de 5 nombres posibles en éste prototipo ingresados.

Fuente: el autor.

- 3) Si el usuario lo desea tiene la opción de borrar la lista que ha ingresado presionando el botón “*Borrar lista*”.
- 4) Si el usuario lo desea puede salir de la aplicación presionando el botón “*Salir*”.
- 5) Se selecciona los Módulos Localizadores que se van a utilizar.



Figura 38. Pantalla de Selector de Módulos – Infante Asociado, nombres ingresados y 3 de 5 módulos seleccionados.

Fuente: el autor.

- 6) Se presiona el botón “Listo” y se accede a la pantalla de “Radar” o de monitoreo de los módulos localizadores. Sólo se visualizan aquellos módulos seleccionados.



Figura 39. Pantalla “Radar” o de monitoreo de los módulos localizadores.

Fuente: el autor.

- 7) Si los Módulos Localizadores están dentro de un rango de 10 metros a la redonda del dispositivo móvil del Educador, la lista se presenta con fondo verde en cada nombre del niño.



Figura 40. Pantalla de monitoreo, los módulos localizadores se encuentran dentro de la cerca virtual ya que se conectan con el dispositivo móvil del Educador.

Fuente: el autor.

- 8) Si uno o algunos de los módulos salen del área de cobertura de la señal Bluetooth del dispositivo móvil del Educador, se prenden las alarmas auditiva, vibratoria y visual, al poner con rojo el fondo del nombre del niño que no se encuentra.



a)

b)

Figura 41. a) Un módulo no se encuentra dentro del área de cobertura de la señal Bluetooth. b) Dos niños han salido de la cerca virtual.

Fuente: el autor.

- 9) Si el infante regresa, se desactivan automáticamente las alarmas.
- 10) Si el usuario necesita llamar o mensajear a un padre de familia o tutor responsable de un menor puede hacerlo al presionar el botón “*Agenda de Contactos*”.

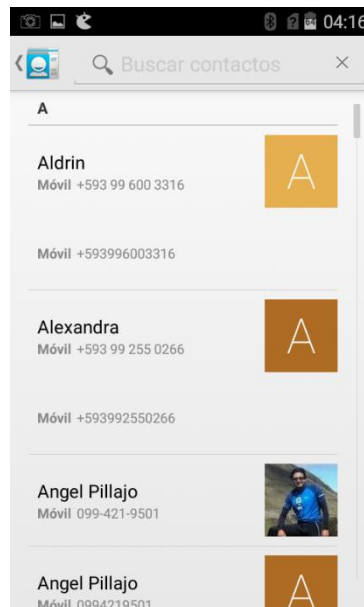


Figura 42. Agenda de contactos.
Fuente: el autor.

- 11) Si la situación lo amerita, el usuario puede llamar al servicio de emergencias ECU911.
- 12) Si el usuario lo desea puede salir de la aplicación presionando el botón “*Salir*”.

Consideraciones verificadas:

- La aplicación sólo funciona si se activa Bluetooth en el dispositivo móvil.
- Se pueden ingresar los nombres de los niños de hasta 25 caracteres para una agradable lectura, soporta caracteres especiales.
- Se puede borrar la lista ingresada presionando el botón correspondiente.
- Se puede abandonar la aplicación con el botón “*Salir*” de la Pantalla de Selector de Módulos – Infante Asociado.

- Se puede seleccionar y deselegionar los Módulos Localizadores requeridos, sin importar su orden o secuencia numérica.
- Se monitorean solamente los módulos localizadores seleccionados.



Figura 43. Monitoreo solamente de los módulos localizadores seleccionados sin importar secuencia numérica o tener ingresado un nombre en particular.

Fuente: el autor.

- El rango efectivo de cobertura de la cerca virtual es de 12m, sin obstáculos.
- Presenta a los nombres de los niños que se encuentran dentro de la cerca virtual con un fondo verde.
- Presenta las tres alarmas cuando uno o más niños no se encuentran dentro de la cerca virtual.
- Si el infante regresa, se desactivan automáticamente las alarmas.
- Se puede abrir la agenda de contactos para llamar o mensajear a un padre de familia o tutor del menor.
- Se puede realizar llamadas de emergencia al ECU911.
- Las baterías tienen una durabilidad de 1 hora con 45 minutos.
- Cuando un módulo localizador sale del rango de cobertura, a la aplicación le toma 5 segundos en declarar al módulo ausente.
- La aplicación sigue funcionando aun cuando la pantalla del dispositivo móvil se apague.

5.4.2 Pruebas del Funcionamiento del Prototipo

Las pruebas se realizaron utilizando, por el lado del dispositivo móvil Maestro, un smartphone marca Samsung, modelo GT-I9100, el cual posee un sistema operativo Android 4.1.2 Jelly Bean y una conectividad Bluetooth Versión 3.0 con A2DP clase 2.

Bluetooth Versión 3.0 tiene un ancho de banda de 24Mbit/s y hace uso del protocolo 802.11.

A2DP significa Distribución de Audio Avanzada. Define cómo se puede propagar un stream de audio (mono o estéreo) entre dispositivos a través de una conexión bluetooth.

Clase 2, lo que significa que tienen un alcance de entre 5 hasta 10 m por lo que su potencia máxima es de 2.5mW o 4dBm.

Por el lado de los localizadores se utilizó los módulos Bluetooth HC-05, son módulos Bluetooth SPP (Serial Port Protocol), diseñados para una conexión serial inalámbrica transparente.

Además es un módulo Maestro-Eslavo, pero trabajará en el prototipo como esclavo, en clase 2 y es compatible con el protocolo Bluetooth V2.0, su voltaje de alimentación está comprendido entre 3.3VDC – 6VDC. Su voltaje de operación es de 3.6VDC.

Posee un baud rate ajustable: 1200, 2400, 4800, 9600, 19200, 38400, 57600, 115200. Se trabaja con el baud rate por defecto de 9600.

Su tamaño es de 1.73 in x 0.63 in x 0.28 in (4.4 cm x 1.6 cm x 0.7 cm) con una corriente de operación: < 40 mA.

Otras características de éstos módulos bluetooth se detallan a continuación:

- Sensibilidad Típica: -80dBm.
- Hasta +4 dBm de potencia de transmisión RF.
- Fully Qualified Bluetooth V2.0 + modulación EDR 3Mbps.

- Funcionamiento de bajo consumo.
- PIO control.
- Antena PCB Integrada.

5.4.2.1 Prueba con línea de vista

Las pruebas se realizaron en un lugar abierto, plano, los resultados obtenidos fueron los siguientes:

Tabla 6. Pruebas con línea de vista.
Fuente: el autor.

| Módulo Localizador | ¿Se vincula con el smartphone? | Se detecta su presencia dentro del área de cobertura de | Se detecta su ausencia fuera del área de cobertura de | Existe falsas alertas |
|--------------------|--------------------------------|---------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------|-----------------------|
| Infante 1 | Si | ~5 metros | > 5 metros | No |
| Infante 2 | Si | ~5 metros | > 5 metros | No |
| Infante 3 | Si | ~5 metros | > 5 metros | No |
| Infante 4 | Si | ~5 metros | > 5 metros | No |
| Infante 5 | Si | ~5 metros | > 5 metros | Si |

Duración de las baterías, en promedio de dos horas de uso continuo.

Permite la llamada al tutor responsable del infante.

6. Conclusiones y Recomendaciones

6.1 Conclusiones

- Se diseñó e implementó un sistema prototipo inalámbrico de cerca virtual, empleando tecnología Bluetooth, compuesto por una aplicación para teléfono inteligente con sistema Android y 2 localizadores, que permite tener cercados virtualmente a niños dentro de un área de 10 metros a la redonda, para su cuidado.
- Se diseñó un comportamiento, una estructura y la funcionalidad del sistema.
- Se estudió, comparó y determinó el equipamiento necesario para desarrollar el sistema, tanto a nivel software como de hardware.
- Se desarrolló y programó una aplicación para sistemas operativos Android que permita, utilizando tecnología Bluetooth, saber si los módulos localizadores están dentro de un área de 10 metros a la redonda y si no lo están, emite una alerta visual con el nombre del correspondiente niño, además de alertas vibratorias y auditivas.
- Se implementaron tres módulos localizadores Bluetooth pequeños, livianos y que pueden ser transportados por niños al sujetarlos a su vestimenta, permitiendo determinar su presencia en el rango de cobertura.
- Se realizaron pruebas y se obtuvieron resultados que indican que el sistema se puede mejorar, ampliar y comercializar.
- El Sistema FenceChild permite que los padres de familia y educadores puedan tener tranquilidad, al saber que los niños están monitoreados, por lo que el sistema se convierte en una herramienta innovadora para el cuidado de los pequeños.

6.2 Recomendaciones

- Aunque MIT App Inventor 2 permite la programación de aplicaciones sin conocimientos de programación y permite acceder a muchas de las funcionalidades del dispositivo móvil con sistema operativo Android, éste tiene algunas falencias. Primero, tiene problemas al trabajar con tiempos y saltos entre los bloques estructurales del programa, lo que se podría comparar con otros lenguajes de programación como saltos o llamados entre funciones, esto hizo que en ocasiones la aplicación se “desincronice” en la multiplexación de conexión/desconexión de los módulos localizadores. Segundo, a nivel de desarrollador, no permite programar los objetos, interfaces y clases de Android por lo que acceder a variables y constantes del manejo propio de Bluetooth no es posible y no hay más que trabajar con los valores por defecto. Por éstas razones y si se desea trabajar con valores RSSI se recomienda la utilización de la plataforma de desarrollo Android Studio pero con el precio que es de tener conocimientos profundos de java y xml.
- Para la carga de las baterías de los módulos localizadores se recomienda la utilización de cargadores universales con conectores molex kk macho recto.
- El educador o usuario antes de la utilización del sistema FenceChild debe asegurarse que las baterías de los módulos localizadores estén cargadas así como la batería de su celular o tableta inteligente, ya que si alguno de ellos perdiera energía durante una salida a campo o visita, el sistema pierde su eficacia.
- Se recomienda que la bolsa contenedora del módulo Bluetooth HC-05 o bolsa del módulo localizador, se sujete en la espalda del niño, para éste no juegue con el módulo o llegue a quitarse la bolsa por error.

7. Referencias:

- [1] INTERCULTURAL, R. G. (25 de Noviembre de 2015). *Educación de Calidad*.
Obtenido de <http://educaciondecalidad.ec/>: <http://educaciondecalidad.ec/ley-educacion-intercultural-menu/reglamento-loei-texto.html>
- [2] CCM - Comunidad Informática. (abril de 2016). Obtenido de es.ccm.net:
<http://es.ccm.net/contents/69-como-funciona-bluetooth>
- [3] Huang, W. (19 de octubre de 2015). Google Play Store - Bluetooth Pair. Obtenido de https://play.google.com/store:
<https://play.google.com/store/apps/details?id=com.waylonhuang.bluetoothpair&hl=es>
- [4] Orozco, D. (1 de junio de 2011). Concepto Definición de. Obtenido de conceptodefinicion.de: <http://conceptodefinicion.de/android/>
- [5] Puerto, K. (19 de noviembre de 2015). Xataka. Obtenido de [xataka.com](http://www.xataka.com/):
<http://www.xataka.com/moviles/gartner-el-98-del-mercado-movil-es-de-ios-y-android-crecio-un-15-gracias-a-los-mercados-emergentes>
- [6] *El Diario*. (19 de abril de 2015). Obtenido de [eldiario.ec](http://www.eldiario.ec/):
<http://www.eldiario.ec/noticias-manabi-ecuador/353257-243-de-la-poblacion-tiene-un-smartphone/>
- [7] Android Studio. (7 de abril de 2016). Obtenido de <http://developer.android.com/>:
<http://developer.android.com/intl/es/sdk/index.html>
- [8] MIT App Inventor 2. (2015). Obtenido de appinventor.mit.edu:
<http://appinventor.mit.edu/explore/library>
- [9] App.Yet. (2015). Obtenido de appyet.com/: <http://appyet.com/>
- [10] Seeed Studio Wiki. (2 de junio de 2015). Obtenido de [seeedstudio.com](http://www.seeedstudio.com/):
http://www.seeedstudio.com/wiki/Bluetooth_Bee
- [11] ITead Studio. (4 de agosto de 2015). Obtenido de <http://wiki.iteadstudio.com/>:
[http://wiki.iteadstudio.com/Serial_Port_Bluetooth_Module_\(Master/Slave\)_:_HC-05](http://wiki.iteadstudio.com/Serial_Port_Bluetooth_Module_(Master/Slave)_:_HC-05)
- [12] Wikipedia La enciclopedia Libre. (2016). Obtenido de <https://es.wikipedia.org/wiki/Bluetooth>
- [13] 123D Circuits. (2016). Obtenido de 123d.circuits.io: <https://123d.circuits.io/>

- [14] Varela Burbano, F. A. (2007). *Repositorio Institucional de la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE*. Obtenido de <http://repositorio.espe.edu.ec/>:
<http://repositorio.espe.edu.ec/bitstream/21000/564/1/T-ESPE-025277.pdf>

8. Anexos

Anexo 1: Datasheet HC-05

Anexo 2: Arduino UNO

Anexo 3: MIT App Inventor 2

Anexo 4: Developer Android Bluetooth