



Facultad de Ciencias Económicas y Empresariales

INNOVACIÓN TECNOLÓGICA EN EL SECTOR AGRÍCOLA: BENÍN

Autor: Jaime López-Pinto Olalquiaga
Director: Amparo Merino de Diego

MADRID | junio 2019

Resumen

En el presente trabajo se realiza un estudio sobre el impacto de la innovación tecnológica en un mercado emergente: la República de Benín. El estudio se realizó basándose en los resultados derivados de un proyecto llevado a cabo en la ciudad de Nikki por la Fundación Alaine. El producto propuesto es fruto de un proyecto actualmente en fase de ejecución y monitorización iniciado por el profesorado y alumnado de la Escuela Técnica Superior de Ingeniería ICAI.

Los resultados de este estudio mostraron el impacto económico y social derivados del uso del producto propuesto en el sector agrícola, el cual ofrece empleo en la actualidad a un 70% de la población activa. A pesar del choque cultural generado por la desconfianza en las nuevas tecnologías, esta se verá reducida mediante la formación e información de la población sobre el producto propuesto. Los resultados y las conclusiones realizadas en este estudio pueden servir como base para futuras líneas de investigación.

Palabras clave: Agricultura, huertos, agua, electricidad, placa, proyecto.

Abstract

This dissertation studies the impact of technological innovation in an emerging market: the Republic of Benin. The study was based on the results of a project carried out in the city of Nikki by the Alaine Foundation. The proposed product is the result of a project currently in the implementation and monitoring phase, initiated by teachers and students of the ICAI School of Engineering.

The results of this study showed the economic and social impact derived from the use of the proposed product in the agricultural sector, which currently provides employment to 70% of the active population. Despite the culture shock generated by mistrust in new technologies, this will be reduced through training and information of the population on the proposed product. The results and conclusions drawn from this study may serve as a basis for future lines of research.

Keywords: Agriculture, orchards, water, electricity, plate, project

Índice

1. Introducción	7
2. Marco Teórico	9
2.1 Geografía	10
2.2 Clima	11
2.2.1 Temperatura y precipitaciones	11
2.3 Energía	12
2.4 Economía de Benín	13
2.4.1 Agricultura	14
2.4.2 Rol de la mujer	15
3. Obstáculos	16
3.1 Energía eléctrica	16
3.2 Acceso a agua potable	17
3.3 Agricultura	18
3.4 Economía	19
4. Fortalezas	20
4.1 Economía	20
4.2 Energía	20
5. Proyectos	22
5.1 Campos de placas solares, Borgou	23
5.2 Construcción de pozos de agua, Aura	24
6. Trabajo de Campo	26
6.1 ¿Qué es la innovación tecnológica?	26
6.2 Raspberry Pi 3B+	27
6.3 Energía solar	29
6.4 Sistema de riego	32
6.5 Formación	33
6.6 Financiación	34
6.7 ¿Qué hace tan significativa a la placa Raspberry Pi 3B+?	36
6.7.1 Viva Voce	37
6.7.2 Impacto socioeconómico	38
6.7.3 Impacto medioambiental	39
7. Conclusiones	41
8. Bibliografía	43

Índice de figuras

Figura 1: Mapa político de Benín y sus 12 departamentos.....	9
Figura 2: Evolución de la Población en Benín	10
Figura 3: Climograma Nikki	11
Figura 4: Temperatura y precipitaciones en Nikki	12
Figura 5: Acceso a la electricidad, sector rural (% de la población rural)	13
Figura 6: Ranking del IDH 2017	14
Figura 7: % PIB por sectores	15
Figura 8: Velocidad promedio de viento (región de Nikki)	17
Figura 9: Balanza por cuenta corriente (en millones de USD).....	19
Figura 10: Áreas donde la energía hidroeléctrica pueda ser la opción más económica de electrificación rural	21
Figura 11: Radiación solar mundial (W/m²)	22
Figura 12: Componentes de una Raspberry Pi 3B+.....	28
Figura 13: Tipos de paneles fotovoltaicos.....	30
Figura 14: Esquema de la instalación de paneles solares y regadío.....	32

Glosario de abreviaturas y acrónimos

PNUD: Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo

GNUD: Grupo de las Naciones Unidas para el Desarrollo

FMAM: Fondo para el Medio Ambiente Mundial

MAPS: Mainstreaming Acceleration Policy Support

ODS: Objetivos de Desarrollo Sostenible

CFA: Comunidad Financiera Africana

WWF: World Wildlife Fund

IDH: Índice de Desarrollo Humano

SBEE: Société B ninoise d' nergie Electrique

SONEB: Société Nationale des Eaux du B nin

JRC: Joint Research Centre

CEB: Communauté Electrique du B nin

1. Introducción

A pesar de los programas de adaptación del PNUD, el apoyo del FMAM así como del gobierno de Benín, el sector de la agricultura ha sufrido en la última década “los efectos del cambio climático” los cuales “se han hecho sentir en todo el país” (PNUD, 2016), poniendo en riesgo la subsistencia de las poblaciones más pobres. A pesar de las múltiples posibilidades que tiene el desarrollo de la energía solar, sobre las cuales hablaré más adelante, el índice de electrificación rural no alcanza aún el 18%. Combatir estas barreras será uno de los desafíos para las próximas décadas.

Así, el objetivo principal de este trabajo será el de examinar un caso de innovación técnica en explotaciones agrarias de Benín, con el fin de no solo hacer frente a estos retos que plantea el sector agrícola sino también el de cumplir con el artículo 11 del ‘Pacto Internacional de Derechos Económicos, Sociales y Culturales’ (Naciones Unidas, 1976), el cual reconoce el derecho de toda persona a una mejora continua de las condiciones de existencia:

- *“Mejorar los métodos de producción, conservación y distribución de alimentos mediante la plena utilización de los conocimientos técnicos y científicos, la divulgación de principios sobre nutrición y el perfeccionamiento o la reforma de los regímenes agrarios de modo que se logren la explotación y la utilización más eficaces de las riquezas naturales”*

En el nuevo plan estratégico elaborado por el PNUD con la colaboración del GNUD para 2030, se incluye una estrategia de innovación en el ámbito del desarrollo para ayudar a los países a erradicar la pobreza y reducir significativamente tanto las desigualdades como la exclusión social. Dicha estrategia se conoce como MAPS, “un enfoque común para ayudar a los países a implementar la Agenda 2030 y alcanzar los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS)” (Klingspor e Igloi, 2018). En ella se ofrece un conjunto de servicios de apoyo que abarcan ámbitos muy diversos que casi en su totalidad coinciden con los objetivos específicos de este Trabajo de Fin de Grado:

- Crecimiento inclusivo y empleo productivo
- Acceso al agua y saneamiento
- Adaptación al cambio climático
- Acceso a la energía sostenible
- Gestión sostenible de los ecosistemas terrestres
- Empoderamiento de las mujeres

La metodología que seguirá este trabajo comenzará con un análisis Marco Teórico de Benín, siguiendo un guion con las variables clave que se estudiarán en el territorio: la geografía, realizando un análisis del clima, las temperaturas y las precipitaciones, el acceso a la energía y la economía del país, con un enfoque especial en el sector de la agricultura y el rol de la mujer. Este profundo análisis se ha realizado consultando numerosos artículos, estudios y fichas del país, tanto en periódicos, publicaciones gubernamentales, como en otros medios de difusión, elaborados por expertos en la materia.

Posteriormente, repasaré los obstáculos y las fortalezas del país. Esta parte del trabajo irá cobrando importancia con el transcurso del mismo, ya que la innovación tecnológica propuesta servirá como solución para los primeros, mediante el uso y aplicación de las fortalezas.

A continuación, se comentarán dos proyectos de innovación llevados a cabo por diversas fundaciones para, más adelante, poder compararlos con la relevancia del trabajo de campo. Esta parte resultará, así mismo, de gran interés para la identificación de los beneficios generados directa e indirectamente por el producto propuesto en la sociedad beninesa.

Más adelante, presentaré el trabajo de campo, un producto desarrollado por alumnos de la Universidad Pontificia Comillas (ICAI), el cual se ha puesto recientemente a prueba en Nikki, una comuna beninesa perteneciente a la región de Borgou. Para ello, comentaré las innovaciones tecnológicas necesarias para alcanzar el impacto esperado en la sociedad. Proseguiré argumentando la relevancia de este producto para, finalmente, presentar los beneficios generados por el mismo y su impacto socioeconómico y medioambiental.

Para concluir, realizaré un repaso de las soluciones a las que contribuirá la tecnología propuesta en diversos ámbitos del país para, finalmente, dejar algunas preguntas abiertas que se espera puedan resolverse en futuras líneas de investigación.

2. Marco Teórico

La República de Benín está situada en África Occidental. Limita con el Océano Atlántico al sur y es fronteriza con Togo al oeste, Burkina Faso y Níger al norte, y Nigeria al este. La capital es la ciudad de Porto-Novo, sede de la Asamblea Nacional, aunque la sede del gobierno se encuentra en la capital económica y la ciudad costera más grande y poblada del país: Cotonú. La lengua oficial es el francés, pero también se hablan otras lenguas autóctonas como el yoruba, en la región que hace frontera con Nigeria, fon, bariba y adja entre otras. Su moneda es el Franco de la CFA, cuyo tipo de cambio es fijo a 655,98 CFA por € desde 1999. En Benín conviven tres grupos religiosos: el más grande está formado por cristianos católicos, evangélicos y presbiterianos, seguido por el islam y por último el vudú.

Hasta 1999 Benín se encontraba dividida en seis departamentos, los cuales fueron nuevamente divididos en dos mitades dando lugar a los doce actuales:

1. Alibori
2. Atakora
3. Atlantico
4. Borgou
5. Collines
6. Donga
7. Kouffo
8. Litoral
9. Mono
10. Ouémé
11. Plateau
12. Zou

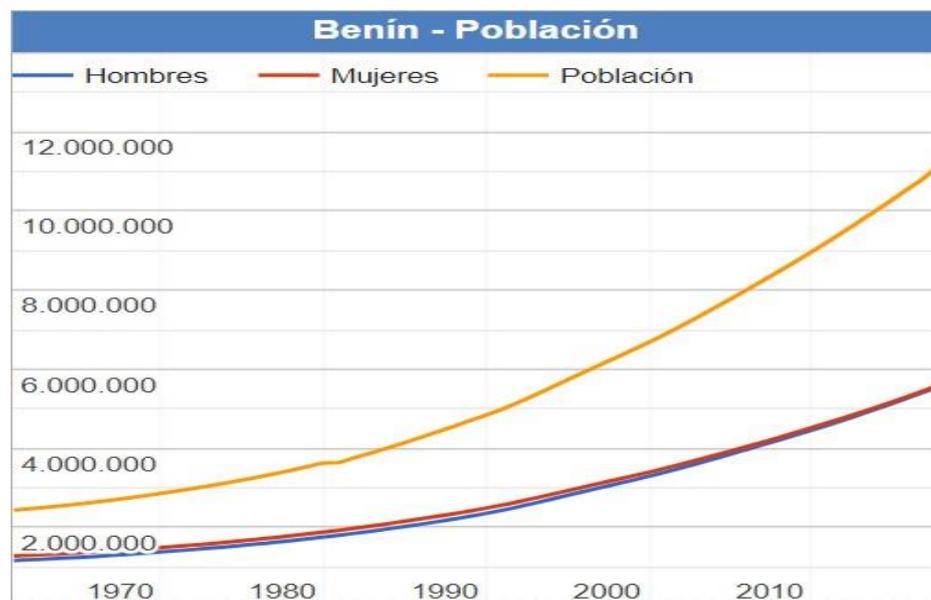
Figura 1: Mapa político de Benín y sus 12 departamentos



Fuente: Mapa Actual (Rosillo, 2018)

El área que ocupa Benín es de aproximadamente 110.000 km² y cuenta con una población de más de 11.200.000 de habitantes según ‘The African Statistical Yearbook’, publicado en 2018, donde el 50,12% del total son mujeres y el 49,88% hombres (African Development Bank Group, 2018). Como podemos comprobar en el siguiente gráfico, existe un crecimiento elevado, casi del 100%, de la población a lo largo de las últimas dos décadas.

Figura 2: Evolución de la Población en Benín



Fuente: Datos Macro

2.1 Geografía

“El país está dividido en cuatro áreas principales de sur a norte” (Oficina de Información Diplomática del Ministerio, 2019). La zona costera es arenosa, pantanosa y posee lagos y lagunas conectadas al Océano Atlántico. Los llanos del sur están surcados por valles que van de norte a sur. Esta zona está catalogada por la WWF “como parte del mosaico de selva como parte del mosaico de selva y sabana de Guinea”. Le sigue una zona de tierras llanas, entre Nikki y Savé, en las cuales se centrará la innovación tecnológica propuesta para lograr el objetivo general de este TFG. Por último, se encuentra la sierra de Atakora que se extiende entre la frontera noroeste y Togo.

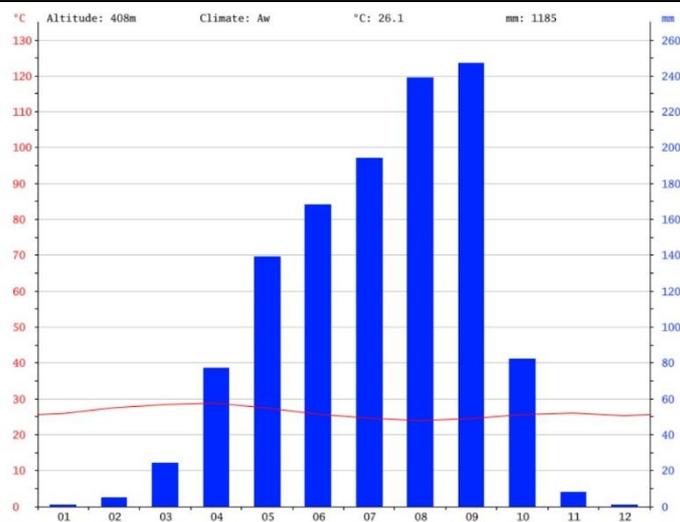
2.2 Clima

El clima también se puede dividir en dos secciones. Por un lado, el sur, donde predomina un clima ecuatorial con cuatro estaciones: de abril a junio una gran estación de lluvias, de agosto a mediados de septiembre una pequeña estación seca, de mediados de septiembre a octubre una pequeña estación de lluvias, de noviembre a marzo una gran estación seca. Por otro lado, el norte está caracterizado por contar con dos grandes estaciones. Continuaré con el análisis del clima en esta sección tomando como referencia datos de la región de Nikki, una de las zonas donde el objetivo general de este trabajo es de mayor necesidad y a la que aludiré en múltiples ocasiones a lo largo de este TFG.

2.2.1 Temperatura y precipitaciones

Como he comentado anteriormente, el clima tropical de esta región está caracterizado por sus dos grandes estaciones. De mayo a septiembre cuenta con una gran cantidad de lluvia, mientras que los meses de octubre a abril son drásticamente más secos. El mes más seco es enero, promediando 1mm de precipitación, mientras que la mayor parte de la precipitación cae en septiembre, promediando 247mm.

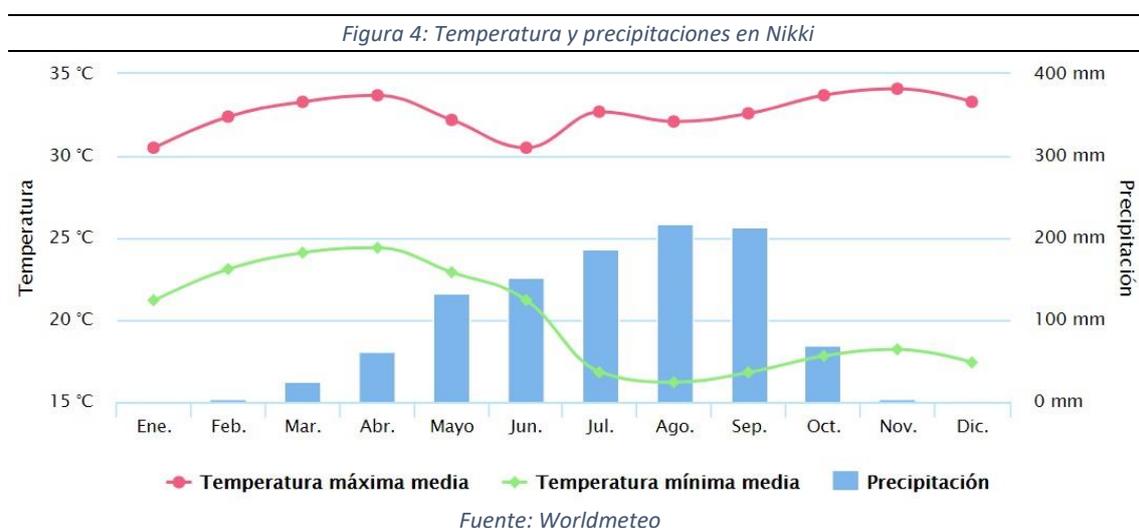
Figura 3: Climograma Nikki



Fuente: Climate-Data.org

El clima es cálido y húmedo y las temperaturas medias en Nikki son elevadas, bajando raras veces de los 18°C, especialmente durante la estación seca. Varían con una frecuencia muy alta por lo que es común que por las noches se alcancen temperaturas mínimas considerablemente más bajas. Estas bajadas repentinas son originadas por el viento proveniente del Sahara, el harmatán, caracterizado por su sequedad y frescor, y por ir

cargado de polvo del desierto. Como podemos comprobar a continuación, las temperaturas oscilan en mayor amplitud en los meses más calurosos (noviembre a marzo).

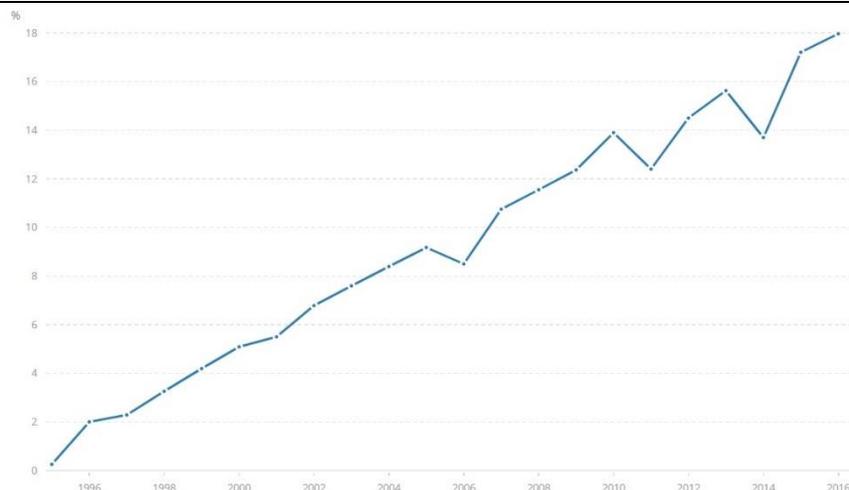


2.3 Energía

La República de Benín es uno de los países menos desarrollados energéticamente de África, donde menos del 18% del sector rural tiene acceso a la electricidad. La totalidad de los productos petrolíferos, fuente que representa el 38,4% del uso energético del país, provienen de importaciones exteriores. A su vez, la dependencia energética del exterior es muy elevada ya que cubre más del 98% de las necesidades energéticas de Benín. Un 85% del consumo eléctrico es importado de Ghana, Cote d'Ivoire y Nigeria (Energypedia, 2018). Debido a la elevada dependencia de la importación energética, Benín es actualmente un país muy vulnerable tanto a las fluctuaciones de precio del petróleo como a los tipos de cambio del dólar.

Con el objetivo de definir la organización política del sector eléctrico del país, así como las operaciones de importación, transporte, distribución y generación eléctrica, el gobierno de Benín elaboró en 2007 un informe que proporciona una estrategia para cumplir con los retos del sector de energía del país hasta 2025 (FAO y FAOLEX, 2007). El fin, continuar con la mejora del acceso a la electricidad en Benín, con especial énfasis en el sector rural.

Figura 5: Acceso a la electricidad, sector rural (% de la población rural)



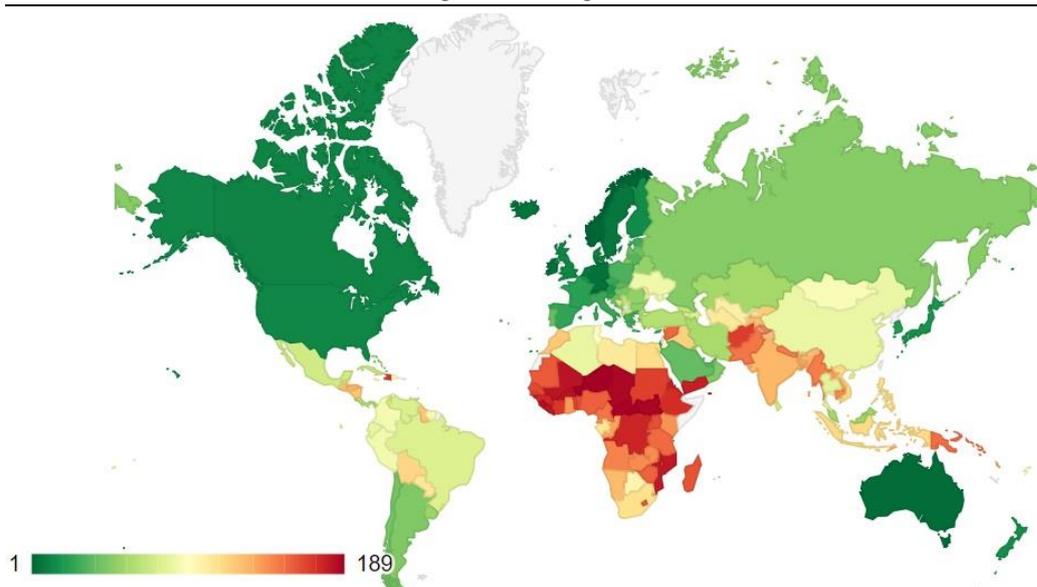
Fuente: Banco Mundial

2.4 Economía de Benín

Se utilizará el PIB per cápita como indicador de calidad de vida. En 2017 fue de 732€, habiendo aumentado en los últimos 10 hasta un 42% y situándose en la posición 172 de 196 países del ranking mundial de PIB per cápita. Esto indica que la mayor parte de los habitantes tienen un bajísimo nivel de vida, donde no solo aproximadamente el 36% de la población vive bajo el umbral de pobreza, sino que el hecho de hacer negocios en el país cada año se hace más complicado cayendo dos puestos (hasta el 153 de 190 países) en el último año en el ranking elaborado por “Doing Business” (Datosmacro, 2019).

Otro indicador que resulta interesante para medir el progreso de Benín es el IDH. Esta medida, desarrollada por las Naciones Unidas, es un valor numérico comprendido entre 0 (malo) y 1 (ideal), que clasifica a los países como desarrollados, en desarrollo o subdesarrollados, teniendo en cuenta cinco medidas trascendentales: la tasa de mortalidad, la esperanza de vida al nacer, la alfabetización, la educación y el nivel de vida.

Figura 6: Ranking del IDH 2017



Fuente: Datosmacro

Como podemos comprobar en la figura anterior y debido a la falta de servicios sanitarios, agua potable, una economía que sostenga a los países, nutrición y muchas otras variables, África es el continente con mayor existencia de países subdesarrollados del mundo. Tanto por las razones mencionadas anteriormente como, principalmente, por el difícil acceso a la electricidad y la falta de innovación tecnológica, el IDH de Benín se sitúa en el puesto 163 con tan solo 0,515 puntos.

2.4.1 Agricultura

“Benín cuenta con una economía en vías de desarrollo con un Producto Interior Bruto dependiente de la agricultura, de la producción de algodón y del comercio interregional” (Oficina de Información Diplomática del Ministerio, 2019). A pesar del crecimiento de la producción nacional durante los últimos años, este mismo se ha visto ralentizado debido principalmente a tres factores: los problemas de suministro eléctrico que afectan al desarrollo industrial, el descenso de las precipitaciones que afectan a la agricultura, así como la recesión que atraviesa uno de los países vecinos, Nigeria, y a la debilidad de su moneda, que ha resultado en una contracción de las exportaciones a dicho país. Aun así, se estima un crecimiento del 5,8% en 2018, impulsado por la alta actividad portuaria, la gran producción de algodón y la recuperación económica nigeriana, traducida en un aumento en las exportaciones. Uno de los factores clave de este crecimiento ha sido, sin duda, las mejoras en el puerto de Cotonú, puerto principal para el transporte de mercancías destinadas a Burkina Faso, Niger y Nigeria.

Figura 7: % PIB por sectores

Servicios	50,6%
Agricultura	25,2%
Industria	24,0%

Fuente: African Statistical Yearbook 2018

El sector de la agricultura juega un papel importantísimo en la economía de Benín ya que representa aproximadamente un 25% del PIB nacional. Según datos del FMI, se estima una población activa de 3,6 millones de habitantes, de los cuales un 70% ocupan un empleo en el sector de la agricultura. Sin embargo, la productividad de la mano de obra es una de las más bajas del mundo siendo la principal causa el amplio campo de mejora aun existente en el sector agrícola.

2.4.2 Rol de la mujer

A pesar de haber logrado en las últimas décadas logros considerables en cuanto al desarrollo humano, siguen estando muy presentes las desigualdades de género en el país. Las mujeres ocupan una posición más bien secundaria en los hogares. Su acceso a los recursos financieros y a suelos fértiles es limitado, carecen de derecho a heredar tierras y están pobremente representadas en los consejos de toma de decisiones. Las labores de recogida de agua son llevadas a cabo por las mujeres que, dependiendo de la lejanía de un pozo, pueden llegar a estar varias horas al día transportando cubos de agua hasta los huertos.

3. Obstáculos

A continuación, mencionaré diversos obstáculos y fortalezas que nos podremos encontrar a la hora de intentar introducir una innovación tecnológica, dividiendo a estos por los sectores con mayor relevancia para este TFG. Para ello, como he mencionado anteriormente, nos centramos en la región de Nikki. Los apartados analizados a continuación cobrarán mayor importancia una vez explique detalladamente el trabajo de campo, ya que todos ellos se verán beneficiados por las consecuencias derivadas de la implementación en el sector agrícola del producto propuesto.

3.1 Energía eléctrica

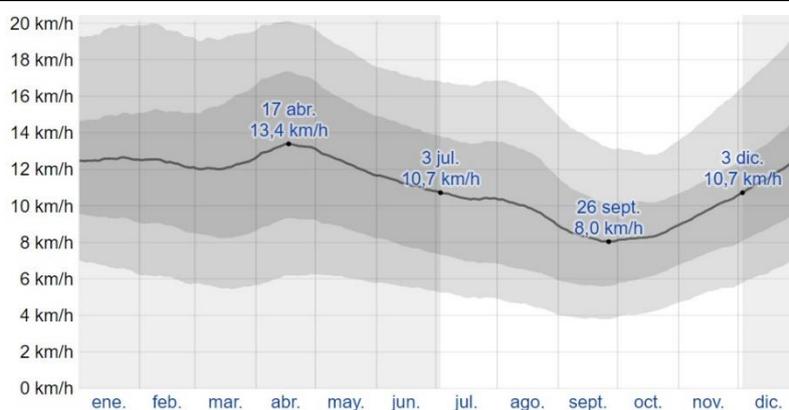
Uno de los obstáculos que nos encontraremos a la hora del intento de implementar innovaciones tecnológicas en el sector agrario es la clara falta de calidad de suministro de electricidad en Nikki. La alta frecuencia de cortes del servicio eléctrico, principalmente causadas por las fuertes lluvias, e incluso la inexistencia de este recurso en determinadas zonas, son sólo algunos de los mayores problemas que afectan a la población rural.

La comuna está formada por pequeñas viviendas tradicionales africanas, comúnmente conocidas por sus reducidos espacios, además de su mala iluminación y ventilación, lo cual conlleva a frecuentes problemas de higiene. “El mal diseño de las casas impide la adecuada incorporación del cableado eléctrico lo que, sumado a las numerosas caídas y subidas de tensión provocadas por el incorrecto suministro de la red eléctrica, provocan daños en los electrodomésticos y otras máquinas usadas en las viviendas y tiendas locales” (Fonds Africain de Developpement, 2018).

Para 2015 se elaboró una estrategia de electrificación rural, con el objetivo de lograr una tasa de electrificación del 40%. Sin embargo, los resultados ni se acercaron a los esperados por varios motivos: la falta de capacidad operativa y financiera para cubrir los gastos por parte de la SBEE y la crisis energética sufrida desde 2007, debida a la dependencia de suministro de Ghana y Costa de Marfil. Estas subidas de precio, especialmente en el diésel provocaron continuas pérdidas financieras en áreas donde hacen uso de generadores diésel, siendo los costos de la producción de alimentación superiores a los precios de venta al por menor.

En la tabla que se muestra a continuación se pueden observar las diferentes velocidades del viento en cada mes. Los datos confirman y agravan uno de los problemas mencionados en el apartado anterior. Una de las fuentes de energías principales en los países desarrollados proviene de los aerogeneradores. Sin embargo, en el caso de Benín y en concreto de la región de Nikki, se observa cómo la implementación de este recurso resultaría imposible, teniendo en cuenta que, para poder obtener energía eléctrica de ellos, los aerogeneradores comenzarían a trabajar a partir de una velocidad del viento de 11 - 15 km/h.

Figura 8: Velocidad promedio de viento (región de Nikki)



Fuente: Weather Spark

3.2 Acceso a agua potable

Uno de los retos de la cooperación al desarrollo en la actualidad y reflejado en los ODS, es el acceso al agua potable: el saneamiento, la higiene, la salud, así como el crecimiento y desarrollo del país dependen de él. “El recurso hídrico en la población de Nikki es muy escaso en la estación seca, y abundante en la estación de lluvias” (Pascual, 2014). En algunos casos tanto la escasez como la abundancia de agua impiden el crecimiento necesario de algunas cosechas. Con el fin de regar las plantaciones, las mujeres (encargadas de esta tarea) deben recorrerse a menudo numerosas veces el camino hasta pozos y balsas, tarea que les lleva varias horas al día.

En la capital de Nikki existen más de 700 puntos en los cuales SONEB, empresa gubernamental, proporciona agua potable. Ocurre con frecuencia que, por niveles de extrema escasez, se bloqueen algunos o incluso todos los puntos de la red. De darse el caso, los habitantes de Nikki capital deberán abastecerse de las fuentes de abastecimiento principales del sector rural: los pozos abiertos. De ellos surge uno de los problemas más importantes de Benín. La escasa cultura sanitaria de los mismos, su falta de potabilización

y su estado de permanente apertura, conlleva a una contaminación bacteriológica común en la población.

La consecuencia principal en el país de la escasez de agua es por ello la escasez de higiene. La falta de cultura higiénica sumada a las condiciones higiénicas nefastas de los pozos provoca que de la ingesta de agua deriven muchas enfermedades gastrointestinales. Por ello, SONEB ha establecido como uno de los objetivos para la próxima década la construcción de mayor cantidad de puntos de abastecimiento de agua potable, pozos cerrados de extracción a través de bombonas manuales.

3.3 Agricultura

La agricultura, el sector con mayor importancia en la economía del país, carece de herramientas para realizar una explotación a gran escala. Los procesos de cultivo son manuales y con utensilios básicos: el machete, la azada y el pico, para los trabajos de mantenimiento, y los arados de tracción animal para el removido de la tierra.

Como hemos mencionado en el apartado anterior, la falta de agua es uno de los problemas principales de los agricultores debido a la climatología de Benín, la cual divide el año en una época de lluvias torrenciales y otra de sequía. Además, las condiciones tropicales que se dan durante todo el año provocan todo tipo de plagas y enfermedades que, al no combatirse de manera correcta, generan un problema en la mayoría de las explotaciones.

La llegada de herbicidas ha logrado su auge en la última década. Sin embargo, su utilización se ha visto reducida en los últimos años debido a su elevado precio y a su complicada utilización. La falta de conocimiento sobre el uso de estos productos “puede perjudicar la salubridad de la población y el estado del suelo” (Alfaro y Pascual, 2014). Muchos cultivos se han visto afectados por ellos, creando una situación de elevada vulnerabilidad.

El incorrecto almacenamiento de las semillas posteriormente utilizadas provoca un crecimiento defectuoso de una gran parte de las plantas, viéndose afectadas por patógenos durante su almacenaje.

3.4 Economía

Desde el punto de vista de la economía, el dato más preocupante es el de la balanza de pagos.

Figura 9: Balanza por cuenta corriente (en millones de USD)

	2014	2015	2016	2017
Exportaciones FOB	1.904;	1.138;	1.075;	1.172
Importaciones FOB	8.708;	6.873;	5.227;	6.075
Balanza por cuenta corriente (% PIB)			-8,5%;	-8,9%;
Deuda externa (millones de dólares)	1.731;	1.836;	2.336;	n.d.

Fuente: Ministerio de Asuntos Exteriores y de Cooperación

A pesar de los importantes servicios portuarios y de transportes internacionales que ofrece a los países vecinos, la balanza de servicios es cada año más negativa que la anterior. La balanza de capital es positiva, como consecuencia de las ayudas internacionales que recibe Benín, sin embargo, la deuda externa incrementa, principalmente por esta razón, a un ritmo elevado en cada ejercicio. Por otra parte, el saldo negativo de la balanza por cuenta corriente se ha ido deteriorando en los últimos años pasando de un -7,3% en 2010 a un -10,6% en 2018 (Oficina de Información Diplomática del Ministerio , 2019) y los últimos pronósticos indican que estas cifras se mantendrán estables en la próxima década.

El desafío económico al que se enfrenta Benín es el de alcanzar mayores niveles de crecimiento mediante una estrategia de desarrollo liderada por las exportaciones. Para lograr esto serán de vital importancia las reformas en el Puerto de Cotonú, las mejoras en el acceso a la electricidad por parte de toda la población y la innovación tecnológica en la agricultura.

4. Fortalezas

4.1 Economía

El comercio de reexportación juega un papel importantísimo en la economía del país. Esto se debe a la posición estratégica de Benín, que además cuenta con un aceptable sistema de carreteras en comparación con otros países del entorno, a su estabilidad política (sistema político democrático basado en la división de poderes y elecciones multipartidistas), a su estabilidad cambiaria (tipo de cambio fijo desde 1999), así como a las ventajas que ofrece el sector agrícola y el puerto de Cotonú.

Todas estas razones tomarán mayor importancia más adelante, en el desarrollo del trabajo de campo.

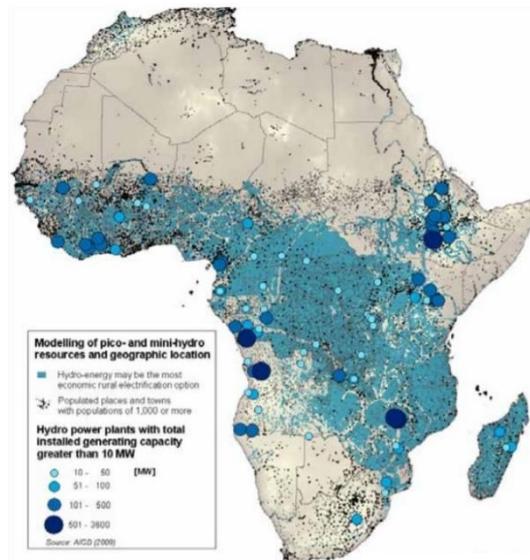
4.2 Energía

Son muchas las ventajas de las energías renovables en las que Benín se puede apoyar: son fácilmente accesibles, tienen un coste reducido, no son una amenaza para la salud ni sus residuos crean amenazas para nadie y las zonas en las que se desarrollan se vuelven más autónomas, viéndose impulsada tanto la industria como la economía del lugar.

Según un estudio realizado por JRC (Belward y otros, 2011) de la comisión europea, las fuentes de energía renovable con mayor potencial en África aplicables también en Benín, salvo la energía eólica por los motivos mencionados anteriormente, son 3:

- Energía hidroeléctrica: Como podemos comprobar en el gráfico a continuación, debido a la red de ríos y a la época de lluvias torrenciales la zona de Benín hay muchas zonas en el país donde se considera a la energía hidroeléctrica como la opción más económica para la electrificación rural. No pasa inadvertido que el territorio todavía no cuente con una instalación capaz de generar más de 10 MW, viendo el potencial hidráulico de la región.

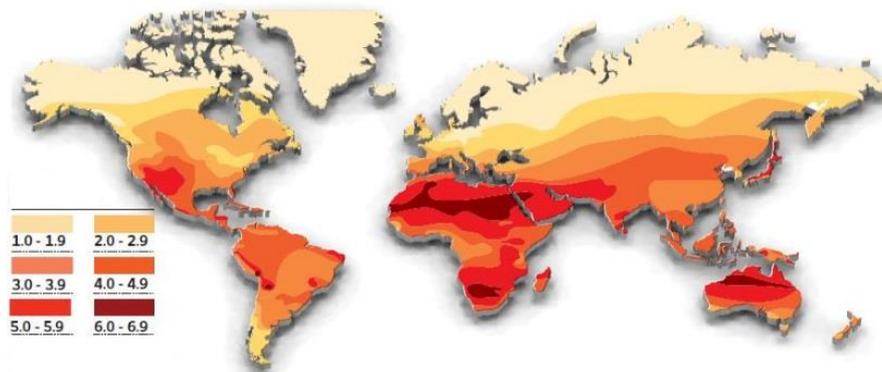
Figura 10: Áreas donde la energía hidroeléctrica pueda ser la opción más económica de electrificación rural



Fuente: JRC Scientific and Technical Reports

- Energía geotérmica: Se trata de una energía renovable que aprovecha el calor del subsuelo para transformarlo en una energía considerada limpia y altamente eficiente. A pesar de estar en período de explotación, debemos tener en cuenta este tipo de energía para su futura explotación en las regiones más cercanas al ecuador.
- Energía solar: África es el continente que más sol recibe durante todo el año. En invierno, el 95% de la luz solar, de más de 6,5 kWh/m², que recibe el planeta en invierno, irradia sobre África. El hecho de encontrarse Benín por debajo del “Cinturón del Sol”, hace posible que un mismo panel fotovoltaico pueda producir hasta dos veces más electricidad que la que produciría en Europa Central.

Figura 11: Radiación solar mundial (W/m2)



Fuente: Central Energía

- Como veremos más adelante, la energía solar jugará un papel importante en la innovación tecnológica de Benín, no sólo por el aprovechamiento de las frecuentes horas de sol y la elevada radiación solar para transformarlo en energía solar, sino también para poder llevar a cabo innovaciones tecnológicas como las que comentaremos más adelante y para las cuales son necesarias fuentes energéticas. En una zona rural donde el acceso a la electricidad es casi nulo, este tipo de fuentes energéticas resultarán de vital importancia.

5. Proyectos

A continuación expondré dos casos de innovación tecnológica llevados a cabo recientemente en Benín, que han contribuido en el desarrollo del país. El fin de este apartado es el de tener dos proyectos reales de innovación social ya implementados para, más adelante, poder compararlos con el producto propuesto en este TFG. Esto nos ayudará a darle sentido a dicha propuesta ya que, a través de la comparativa, seremos capaces de ver los beneficios que supondría, así como el impacto que tendría en la sociedad.

5.1 Campos de placas solares, Borgou

En 2013 la Fundación Energías sin Fronteras comenzó el proyecto que debía llevarse a cabo en el norte de Benín. El fin de este proyecto sería el de combatir el difícil acceso rural a la electricidad, en un país donde incluso en las grandes ciudades sufren de continuos y prolongados cortes de luz. Benín ni siquiera es capaz de producir la energía que necesita para abastecer al 38,4% de la población que tiene acceso a ella, y CEB, compañía eléctrica pública, atraviesa dificultades financieras por el impago de la deuda contraída por el gobierno. Esta situación provoca un abandono en las zonas rurales, que se traduce en una vida más dura para los agricultores y un lastre para el crecimiento industrial.

El primer campo de placas solares se implantó en 2013 en Fô-Bouré, en el departamento de Borgou. Las familias que así lo quisiesen podrían contar con varias bombillas y un enchufe en sus hogares. El consumo se mide gracias a un contador, que los encargados del servicio pasan a cobrar cada mes. El dinero recaudado sirve para cubrir los sueldos de los trabajadores y las reparaciones necesarias del sistema. Cuatro años después del comienzo de este proyecto ya es posible reconocer el impacto que ha tenido tanto en el sector agrícola como en la población rural.

La llegada de la electricidad a las zonas rurales “está abriendo numerosas vías para el empoderamiento de las mujeres” (Caballero, 2017). En una zona donde se espera que la mujer esté callada y se centre en las tareas de los hogares, ahora se reúnen en cooperativas, hablan y opinan en público, y participan en las tomas de decisiones. Con las ganancias que generan son capaces de alquilar tractores para arar sus tierras o facilitar el transporte de otros materiales pesados. El dinero ingresado resultante de esta actividad se utilizará para pagar a las trabajadoras y para cubrir los gastos de transporte, gasolina y reparaciones de los elementos de transporte (motocicletas), que muchas utilizan para desplazarse hasta estos centros.

Junto a las plantas solares están surgiendo “polígonos industriales” que acogen a varias cooperativas de mujeres que gracias a la electricidad logran desarrollar y producir productos más sofisticados para obtener mayores ingresos. La transformación de karité en aceite para cocinar o para cremas y jabones, así como la adquisición de molinos para moler cereales sirven como ejemplo para realmente comprender el valor generado en el sector agrícola.

A parte de las consecuencias favorables anteriormente mencionadas, la llegada de electricidad en esta zona ha traído cambios significativos consigo en sus habitantes. La seguridad ha mejorado notablemente a través de las farolas que permiten caminar de noche por las calles sin miedo y se han convertido en el centro de la vida nocturna de los poblados. El acceso a la electricidad por parte de los hogares ha creado numerosas oportunidades de negocio como la apertura de bares o tiendas en los pueblos. Además, hace posible el uso de electrodomésticos como los ventiladores y frigoríficos que facilitan la vida de todos ellos.

En los años siguientes, se han inaugurado otros cuatro campos de paneles, los últimos dos en 2017 en los pueblos de Fô-Narerou-Buko y Fô-Sakarou. Se trata de dos campos de placas solares que facilitan electricidad a más de 6.000 habitantes de la comuna de Sinedé, en el departamento de Borgou.

5.2 Construcción de pozos de agua, Auara

El acceso a agua potable en las zonas rurales de Benín es complicado. El agua utilizada para beber, cocinar y asearse normalmente se recoge de charcos que son por ello comúnmente las fuentes principales de muchos problemas de salud de la población.

Por ello Auara, una empresa social española que destina la totalidad de sus dividendos a desarrollar proyectos de acceso a agua potable para quienes más lo necesitan, ha llevado a cabo dos proyectos sociales en Benín gracias a la venta de sus botellas de agua solidarias. Cada una de estas botellas contiene un código QR a través de los cuales se les concede a los consumidores la posibilidad de conocer las historias detrás de las personas beneficiadas por los pozos construidos por Auara, contadas por ellas mismas.

El primer proyecto, llevado a cabo en diciembre de 2016 en Tamarou, una población perteneciente al departamento de Borgou y situada al norte de la República de Benín, tiene como fin combatir el abandono de la población por parte de las instituciones que puedan hacer frente a sus necesidades, debido a la distancia que la separa de la capital y a su lejanía con otras grandes ciudades del país. Por ello, y con la colaboración de Manos Unidas, la empresa social decidió llevar a cabo la construcción de un pozo con el objetivo de “evitar enfermedades como el cólera, difteria, disentería, diarreas, cólicos...” (Auara, 2017). Así mismo, se espera que estos pozos contribuyan a mejorar la capacidad

económica de las familias de la región, la cual ha disminuido debido a la caída del cultivo de algodón.

Actualmente, más de 500 personas se han visto beneficiadas por este proyecto.

El segundo proyecto, ejecutado en noviembre de 2018 con la colaboración de la Fundación Salvador Soler, Secretos del agua y las Hermanas Terciarias Capuchinas, tenía como objetivo la mejora del abastecimiento y de la calidad del agua utilizada por los habitantes de Sansí Gandó. Las más de 300 personas pertenecientes a la etnia Gandó son consideradas “inferior[es] al resto de etnias dominantes de la región” (Auara, 2018), y cuentan en la actualidad con aun más dificultades para tener acceso a recursos básicos. Entre sus obligaciones e impedimentos se encuentra el hecho de ceder el sitio en la cola a cualquier persona perteneciente a una etnia distinta y la prohibición de compartir comidas o casarse con ninguna de ellas. La fuente de agua más cercana se encontraba, hasta el momento de la construcción del pozo, a 1 kilómetro de distancia, por lo que acostumbran a abastecerse de agua comúnmente infectada proveniente de pozos abiertos y marigots, fuentes naturales de agua subterránea.

El pozo de bomba manual instalado abastece a día de hoy a más de 300 personas, es decir, a la totalidad de este poblado tan discriminado, cambiando las vidas de todos ellos. A parte del acceso a agua potable y de la desaparición de las enfermedades causadas por esta, la construcción del pozo ha beneficiado considerablemente a las mujeres, encargadas hasta el momento de ir a buscar agua en pozos lejanos, aumentando el tiempo del que disponen para otras labores, como el cuidado de sus hijos, el cultivo de campos o la fabricación de manteca de karité.

Este pozo está financiado tanto por los socios mencionados como por la recaudación de fondos por parte de la población. Estas aportaciones por parte de los paisanos que se ven beneficiados en proyectos sociales como el de una mejora del acceso energético y de agua potable, es común en el país. El objetivo de esta forma de proceder, más que para el fin de recaudar fondos, se establece para contar con la implicación completa de los habitantes para la construcción y el mantenimiento de los proyectos.

6. Trabajo de Campo

Como he mencionado anteriormente, uno de los mayores problemas de toda la población de Benín, y especialmente de los agricultores, es el acceso al agua, lo cual entorpece y dificulta las labores en las plantaciones. El trabajo de campo propuesto a continuación pretende no solo facilitar esta tarea realizada por las mujeres beninesas, sino también generar un impacto positivo en el consumo de dicho bien natural.

A continuación, expondré una propuesta de innovación tecnológica para resolver dicha necesidad en la población. El producto contemplado ha sido desarrollado por la Universidad Pontificia de Comillas. La información recogida proviene principalmente de dos fuentes de información: alumnos y profesorado de la Escuela Técnica Superior de Ingeniería ICAI, y voluntarios de la Fundación Alaine y la Fundación Salvador Soler.

Por una parte, ICAI se ha centrado en el desarrollo del software de la placa Raspberry Pi 3B+, habiéndolo puesto actualmente a prueba en jardines verticales de riego por goteo. Por la otra, la Fundación Alaine se puso en contacto con Icoenergía en 2015 con el objetivo de abastecer de agua una superficie de cultivo de 5Ha, que sería regada gracias a un sistema de riego por goteo. Este proyecto se llevó a cabo y actualmente sigue en marcha. La energía, generada por un panel solar fotovoltaico, se utiliza para extraer agua desde un pozo hasta un depósito en altura.

Este proyecto servirá como fuente de información para aquellos agricultores benineses que estén interesados en darle uso al producto propuesto en este trabajo.

6.1 ¿Qué es la innovación tecnológica?

La innovación tecnológica es una herramienta de la innovación social que consiste en encontrar nuevas formas de satisfacer las necesidades sociales mediante el uso de elementos tecnológicos, produciendo los cambios de comportamiento necesarios para resolver los retos a los que se enfrenta la sociedad, ya sean éticos, medioambientales o económicos.

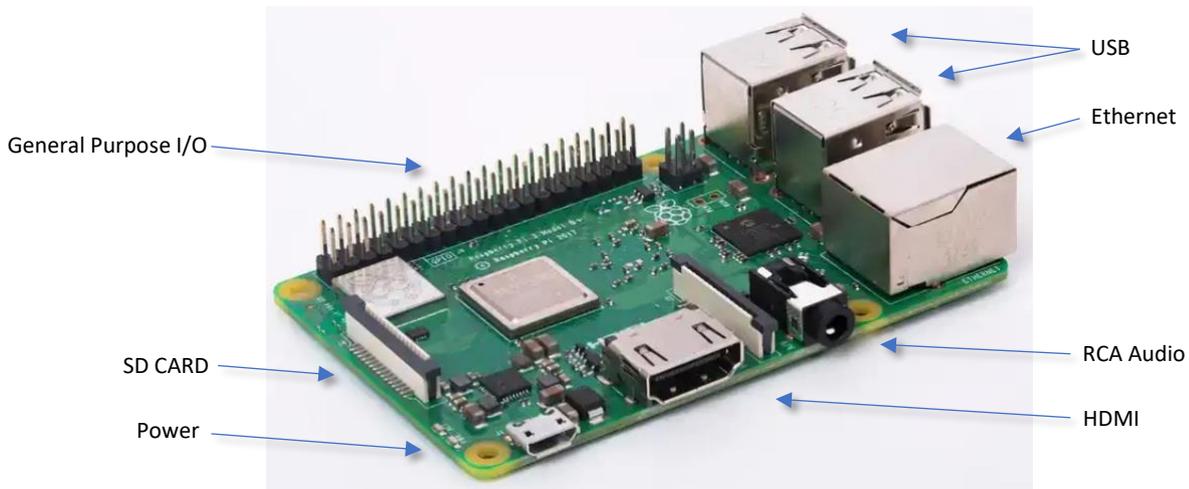
6.2 Raspberry Pi 3B+

Al tratarse de un proyecto llevado actualmente a cabo por la Universidad Pontificia de Comillas en colaboración con la Fundación Alaine, y de un producto desarrollado por alumnos de ICAI, no se entrará en detalle en la programación del dispositivo. Debido a esto el estudio se limitará a explicar el método con el que se podrá proceder a la instalación de este microcontrolador, así como las características y ventajas del mismo. Para ello, se comentarán dos proyectos que podrán llevarse a cabo por separado con este producto: la automatización de un sistema de riego mediante el uso de esta placa y la automatización del uso de la energía solar obtenida a partir de la instalación de paneles fotovoltaicos. La adaptación de la programación de nuestra placa será el resultado de los dos proyectos anteriores unidos con diversas funcionalidades adicionales.

La placa con la que se está llevando a cabo el proyecto actualmente es el modelo Raspberry Pi 3B+, un producto de bajo coste desarrollado en Reino Unido por Raspberry Pi Foundation, con el objetivo de estimular la enseñanza de ciencias de la computación, así como el aprendizaje de programación (Raspberry Pi, 2018). Por ello, esta tecnología fue diseñada con el fin de ser lo más barata posible, para poder llegar al máximo número de usuarios.

Como podemos ver a continuación, este miniordenador puede dar una impresión algo mediocre, ya que consiste únicamente en una placa de ordenador del tamaño de una tarjeta de crédito equipada con múltiples componentes. Sin embargo, tanto su bajo coste, aproximadamente 35€, como su variada funcionalidad, sirve como herramienta para hacer realidad las ideas más diversas, han convertido a este modelo “en el ordenador británico más vendido de todos los tiempos” (Digital Guide, 2019).

Figura 12: Componentes de una Raspberry Pi 3B+



Fuente: Raspberrypi.org, elaboración propia

El Raspberry Pi 3B+ cuenta con un procesador de cuatro núcleos de 64 bits que funciona a 1,4GHz. Esta placa cuenta con una salida de audio y otra de vídeo a través de un conector HDMI, lo que nos permitiría conectar el producto tanto a ordenadores como a televisiones que cuenten con una conexión de ese tipo. En caso de no contar con ninguno de estos dispositivos, este miniordenador es apto para conectarse por medio de Wi-Fi y de Bluetooth a dispositivos móviles, ambas conexiones de bajo consumo energético.

Además, este modelo cuenta con una ranura donde se puede insertar una tarjeta microSD, que puede cumplir la función de disco duro. Al entregarse este producto sin sistema operativo, se deberá instalar sobre esta misma tarjeta SD el software aplicado a las necesidades pertinentes.

6.3 Energía solar

El primer paso a seguir de un agricultor que carezca de una buena accesibilidad a la electricidad será el de la instalación de paneles de energía solar fotovoltaica. Debido a la elevada radiación solar, Benín es un país con un potencial elevado para el uso de esta energía.

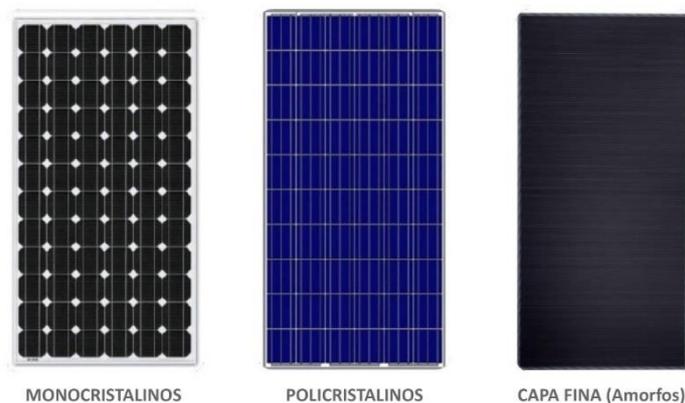
Los paneles son la parte de la instalación más importante, ya que en ellos se encuentran, conectadas eléctricamente y montadas sobre un soporte o marco, las células que transforman la energía de los fotones del sol en eléctrica. La agrupación de estas células tiene como fin la obtención de una intensidad de corriente y un voltaje lo suficientemente elevados como para suministrar la energía necesaria tanto de la Raspberry Pi 3B+ como del riego por goteo mencionado a continuación.

Para la obtención de la energía solar existen tres tipos fundamentales de paneles fotovoltaicos (Tritec, 2016):

- Panel solar monocristalino: se producen con silicio dopado con boro, pero altamente cristalizado. Tienen una eficiencia mayor que los policristalinos o los de capa fina, oscilando su rendimiento entre el 17% y el 20%. Este factor cobra importancia cuando no se dispone de mucha superficie para instalar paneles solares: con el mismo espacio se logra conseguir mayor potencia. Su vida útil es mayor que la del resto de paneles y se comporta mejor con radiación difusa. “Esta energía puede suponer aproximadamente un 15% de la radiación global en los días soleados” (EOI, 2012), mientras que en los días nublados y de lluvias, en los que la radiación directa es mucho más baja, la radiación difusa supone un porcentaje mucho mayor, llegando a alcanzar un porcentaje del 25%. Todos estos factores, junto al derroche de silicio para su proceso de fabricación, hacen que su precio sea considerablemente superior. Además, la fragilidad de estos paneles es mucho mayor: si hay alguna sombra o suciedad sobre éstos, el circuito podrá estropearse con mayor facilidad.

- Panel solar policristalino: al igual que los monocristalinos, utilizan silicio dopado, pero con menos fases de cristalización, lo que conlleva a un proceso de fabricación más barato. Su rendimiento oscila entre el 13% y el 15%, lo que supone un uso de superficie mayor para poder generar la misma electricidad de los paneles anteriores. Sin embargo, su comportamiento frente a altas temperaturas es más favorable, por lo que puede generar más energía que el resto de los paneles bajo estas condiciones.
- Panel solar de Capa Fina: su eficiencia, entre un 7% y un 9% es la más baja de las tres. Están formados por una capa fina de distintos materiales como el arseniuro de galio o cadmio. Estos paneles de capa fina fueron diseñados con el fin de reducir costes de producción y plantearlo como alternativa ante la escasez de silicio, mediante la producción de celdas fabricadas a partir de otros materiales. Por ello, a pesar de necesitar un espacio mayor para generar la misma energía que los paneles monocristalinos y policristalinos, su precio es mucho menor. Además de su buen comportamiento frente a temperaturas altas, su aspecto estético lo ha hecho más atractivo desde el punto de vista de la integración arquitectónica de los paneles en fachadas. Existen actualmente paneles transparentes y semitransparentes, así como de colores, lo que aumenta la posibilidad de su integración en cualquier lugar. Su bajo coste y su capacidad de adaptación en distintas superficies son algunas de las ventajas que han provocado en los últimos años, un aumento de demanda para su uso doméstico.

Figura 13: Tipos de paneles fotovoltaicos



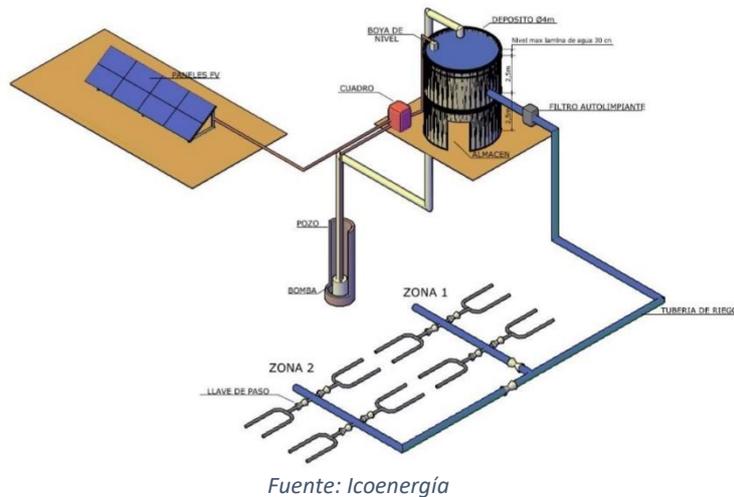
Fuente: Tritec Intervento

La elección de cuál de estos 3 tipos de paneles instalar dependerá de las preferencias de cada agricultor. Aquel que busque sacarle el mayor rendimiento posible deberá analizar las posibilidades con detenimiento. A pesar de que a primera vista resulte el panel policristalino el más atractivo, debido a su elevado rendimiento y su bajo coste en comparación con los monocristalinos, se debería tener en cuenta antes de nada el clima del país. Como sabemos, Benín cuenta con dos grandes estaciones: una de sequedad y otra de gran cantidad de lluvias. Mientras el primero se comporta frente a las elevadas temperaturas de manera más favorable, el segundo se comporta mejor con radiación difusa. De mayo a septiembre son comunes las lluvias torrenciales, así como un cielo cubierto por nubes. Ante este escenario, seis meses de cielo cubierto, y una temperatura máxima media de 33o durante todo el año, los paneles solares monocristalinos resultarán más beneficiosos para aquel agricultor que disponga de una superficie limitada y recursos económicos suficientes para poder permitírselo. Siendo conscientes de que solo aquellos agricultores con una elevada cantidad de terrenos podrían pagarlos y que éstos no son muy frecuentes, serán los paneles policristalinos los que más se vendan. En cuanto a los paneles de capa fina, su venta no sería muy común, ya que a pesar de su aspecto estético y de su bajo coste, su rendimiento es mucho menor.

Tras haber instalado la placa solar escogida, en el caso de no disponer previamente de acceso a la electricidad, se deberá conectar con el sistema de riego, así como con la placa Raspberry Pi 3B+, la cual contará en ese momento con el sistema operativo necesario instalado mediante la tarjeta microSD. Los paneles adquiridos servirán como fuente de alimentación energética para ambos sistemas. Sin embargo, sólo proveerá constantemente energía a la placa. Este miniordenador se encargará de activar la electroválvula para llenar el depósito, cuyo tope es medido con una boya de nivel (Fig.14), y de activar el riego por goteo en sus respectivos momentos correspondientes, es decir, únicamente cuando sea necesario.

Debido al choque cultural al que me referiré más adelante, es de vital importancia ofrecer un conocimiento pleno de todo esto a aquella persona interesada en aplicar este método en sus tierras y huertos.

Figura 14: Esquema de la instalación de paneles solares y regadío



6.4 Sistema de riego

Debido a que las necesidades de agua de los cultivos van ligadas a la radiación solar, el sistema diseñado por Icoenergía fue diseñado de tal forma que sólo bombease agua cuando la radiación solar alcanzase un determinado valor. De esta forma se evitaría el uso de baterías, algo que encarecería considerablemente el proyecto.

Como podemos ver en la Fig.13, el agua es extraída del pozo hasta un almacén en la superficie mediante la energía generada por los paneles solares, con la ayuda de una electroválvula. Esta, tiene adicionada a su cuerpo un solenoide, el cual se encarga de permitir el paso del agua después de activarse a través de un programador, que nos sirve para elegir el momento adecuado para regar. En el caso del proyecto mencionado, este momento coincidiría con aquel en el que la radiación solar alcanzase el valor establecido en el programador.

Con el fin de optimizar el regadío y limitar el uso excesivo de agua en los huertos, éste se automatizará conectando el riego por goteo a la placa. De esta forma, se logrará no sólo satisfacer las necesidades de cada agricultor, sino también ahorrar en ese bien natural tan escaso en el país en determinadas épocas del año.

A través de sensores situados bajo los huertos se analizarán distintas variables de la tierra como la humedad, temperatura, minerales, radiación solar, distancias entre sensores, etc. Estos datos se recogerán tanto en el disco duro del Raspberry Pi 3B+ como en los dispositivos conectados vía WiFi/Bluetooth, y, mediante el sistema operativo anteriormente instalado, la placa analizará el momento necesario de regadío, así como la

cantidad óptima de agua que se deba utilizar. A diferencia del sistema utilizado anteriormente por Icoenergía, el regadío se optimizará, limitando el uso excesivo de agua gracias al análisis continuo de la tierra y su humedad. Así como en el proyecto llevado a cabo por la Fundación Alaine e Icoenergía, se hará uso de una electroválvula para el control del regadío con una diferencia: la toma de decisión del paso del agua estará asimismo automatizada, pero en este caso el programador que se encargue de ello será la placa Raspberry Pi 3B+. Cuando salga el sol y las placas solares comiencen a recibir radiación solar, poniéndose de esta manera en funcionamiento, ocurrirá una reacción en cadena. La electroválvula se activará, llenando el depósito de agua de la superficie para, más adelante, cuando el microprocesador lo estime oportuno según los datos recibidos de los sensores, activar el riego por goteo.

6.5 Formación

Será de gran importancia que las mujeres entiendan el efecto de la placa, sobre todo el efecto resultante de su utilización. En la Fundación Alaine ya se ha incorporado el sistema de riego por goteo comentado. Después de ponerlo a prueba apareció un problema con el que no contaban: las mujeres, desconfiando de que un aparato pudiese sustituir sus labores de riego “por arte de magia”, decidían apagar este sistema y regar manualmente sobre el suelo ya húmedo. El choque cultural es fuerte por lo que, para la incorporación completa del sistema propuesto, así como para aclarar el funcionamiento de la Raspberry Pi 3B+ de forma básica, será necesaria una fase previa de formación. Como ya se ha hecho y se hace actualmente en varios proyectos, se podrá contar con paisanos con formación profesional, voluntarios y especialistas locales (menos comunes), para formar a las cooperativas de mujeres y a los jóvenes como fontaneros, electricistas o técnicos de energía fotovoltaica para que sean ellos los encargados de comprobar que el sistema funcione correctamente, reparar averías o informar sobre ellas y cobrar los recibos mensuales. Según R. Herrera, presidente y fundador de la Fundación Alaine, la dificultad reside en la desconfianza en la tecnología y ve complicado el éxito de estas formaciones. Sin embargo, proyectos como el de la Fundación Energías sin Fronteras demuestran que, con el paso del tiempo, sí pueden tener éxito.

Los objetivos principales de estas formaciones serían:

- Información sobre el sistema de riego. Se explicará su funcionamiento y su formación consistirá en comprender su automatización: el hecho de que los huertos se rieguen cuando sea necesario gracias a un microprocesador.
- Formación para leer los datos enviados por el microprocesador a un dispositivo móvil e información para entender sus funciones.
- Información sobre los paneles fotovoltaicos y su importancia: son los que comparten la energía generada al resto del sistema.
- Formación para detectar averías y tener conocimiento sobre cómo arreglarlas.

6.6 Financiación

La tabla que podemos observar a continuación (Fig. 15) recoge los costes que supondría llevar a cabo el sistema propuesto para abastecer una superficie de 5Ha, incluyendo los materiales utilizados para el sistema de riego por goteo, la placa Raspberry Pi 3B+ y los paneles solares fotovoltaicos necesarios para la creación de energía suficiente como para poder cubrir el consumo energético de la electroválvula y la placa.

Figura 15: Costes

<i>Unidades</i>	<i>Descripción</i>	<i>Coste</i>
12	Módulos fotovoltaicos ESPSA200M	1.815,48 €
1	Bomba GRUNDFOS SQFlex 11 A-3	1.750,51 €
1	Caja de conexiones	71,50 €
1	Cableado y materiales	150,00 €
1	Raspberry Pi 3B+	33,65 €
2	Sensores: Temperatura y humedad	7,37 €
2	Sensores: Medición de distancias	0,62 €
		3.829,13 €

Fuente: Elaboración propia

Es importante tener en cuenta la posibilidad de que los costes varíen por distintos motivos:

- El precio de los módulos fotovoltaicos será el correspondiente al tipo de panel elegido. En la tabla propuesta se incluyen doce paneles fotovoltaicos monocristalinos de 24V, que generarán suficiente energía como para cubrir el consumo de todo el sistema.
- El precio de los sensores representa el de 2 tipos distintos, unos de medición de distancias y otros de la temperatura y humedad de la tierra. Las cantidades adquiridas dependerán del espacio que ocupen los huertos y los tipos de sensores que se quieran añadir.
- A pesar de que el precio del resto de materiales no vaya a variar considerablemente, existirán costes adicionales de envío y transporte que, a su vez, dependerán del tamaño del pedido.

A pesar de que muchos agricultores no cuenten con tanta superficie en sus terrenos, 5Ha, ni recursos económicos suficientes, este proyecto resultará igualmente interesante para todos ellos, dado que promoverá la creación de cooperativas de las que saldrían beneficiados todos los individuos involucrados. Podrán compartir los costes y las labores de mantenimiento del pozo, de los paneles y del sistema de riego, viéndose igualmente beneficiados por las instalaciones. Las preguntas que cobrasen importancia serían las siguientes: ¿Qué sucederá si por cualquier razón mi tierra tuviese que ser regada o tratada de una forma distinta a la de mi vecino, ya sea por niveles de humedad o minerales distintos, o por estar cultivando distintos alimentos en cada huerto? ¿Quién se verá perjudicado?

La respuesta sería: “Nadie”. Mediante los sensores, que como he comentado antes, son capaces de medir la distancia entre ellos, se podrán reconocer en el miniordenador las distintas parcelas existentes estableciendo sistemas de riego y de mediciones de la tierra personalizados para cada una de ellas.

Tanto en el caso de cooperativas como en el de individuos independientes que tomen la decisión de incorporar la placa en sus huertos, será recomendable la creación de un capital destinado a la amortización y el mantenimiento de los materiales instalados, a partir de los beneficios de venta resultantes del uso de la Raspberry Pi 3B+.

6.7 ¿Qué hace tan significativa a la placa Raspberry Pi 3B+?

La placa es un instrumento al servicio del usuario. Podría definirse como un microprocesador que permite adaptar diversas variables en función de los objetivos y voluntades de cada agricultor mediante su programación. El conjunto de estas variables resultará en un análisis de la tierra en profundidad que nos permita saber lo que esta necesite para encontrarse en una situación óptima para su cultivo. Para ello, los sensores incorporados bajo tierra en los huertos analizarán periódicamente durante todo el día una alta variedad de parámetros sobre el estado de la tierra subterránea: la sequedad, los minerales, la temperatura, la humedad, la radiación solar, la sombra y las distancias entre sensores, entre otros. La labor de la placa será similar a la de una “estación meteorológica” que de forma automática decida el momento óptimo para el regadío de los huertos.

La producción de alimentos en los huertos va mayoritariamente destinada al consumo del agricultor que los posee. Gracias a las facilidades obtenidas de la instalación de la placa, se podrán cultivar terrenos mucho más grandes y la cosecha aumentará. Como consecuencia, los agricultores podrán destinar este incremento de la producción a su venta, generando mayores beneficios.

El valor añadido que genera la automatización de este sistema de riego por goteo controlado por el procesador Raspberry Pi 3B+ será el ahorro no sólo del uso excesivo de agua destinado al cultivo y que tan escaso es en un país africano como la República de Benín, sino también del tiempo necesario para regar los cultivos manualmente. La construcción de un pozo de agua ahorrará a las mujeres tener que caminar hasta otras fuentes lejanas. Tanto esto como el acceso a una energía limpia y barata, provocará que se abran numerosas vías para el empoderamiento de las mujeres en estas zonas. El tiempo dedicado a la recogida de agua se podrá invertir en la elaboración de productos más sofisticados o en la distribución y la continuación de la actividad. De esta forma se podrán convertir las cosechas en productos más desarrollados. Así pues, tras la recogida por ejemplo de tomates, será posible la elaboración de salsa de tomate embotellada que no sólo se podrá vender por más dinero, sino que contará con una fecha de caducidad superior. Esto abriría la posibilidad de vender aquellos productos desarrollados tanto en los mercados más cercanos, como es habitual, como en mercados más lejanos y de mayor importancia, gracias al tiempo ahorrado del riego de los huertos. Por ello, cobrarán gran importancia las cooperativas de mujeres y agricultores. Mediante una distribución y

organización adecuada del trabajo estas cooperativas podrán repartirse las tareas de producción y venta y de esta forma, optimizar los tiempos y los beneficios.

A pesar de que la programación de la placa es compleja, el sistema operativo está actualmente acabado y ha sido adaptado a las condiciones y características del terreno. Algo que al principio puede parecer un problema, será resuelto con gran facilidad, ya que, una vez terminada la programación de una placa, sólo será cuestión de utilizar el mismo sistema operativo en cada una de ellas. Al ser una tarjeta SD extraíble la que contenga este software, será más fácil de replicar. La labor que desempeña ICAI tiene por ello un valor que considero debe ser compensado económicamente, aunque la toma de decisión de por cuánto y cómo venderlo, a modo de subvenciones del gobierno o directamente su venta a agricultores, dependerá de lo que la universidad considere oportuno.

A diferencia del proyecto de los campos solares inaugurados en Borgou, este proyecto podrá desarrollarse a través de cooperativas de mujeres y agricultores independientes de forma autónoma.

6.7.1 Viva Voce

Con el fin de dar a conocer el producto, la forma más efectiva será la del uso de publicidad de boca en boca. Esta consiste en la difusión de un mensaje a través de la comunicación entre usuarios que han utilizado exitosamente la placa y otros usuarios potenciales, en nuestro caso cualquier agricultor beninés. Como he comentado anteriormente, uno de los mayores problemas que puede aparecer a la hora de poner en práctica el producto será el choque cultural entre la innovación tecnológica propuesta y la desconfianza de los habitantes en torno a las automatizaciones de las actividades que llevan a cabo diariamente en sus huertos. Por ello, cobrará importancia el uso de esta tecnología en los huertos pertenecientes a fundaciones y organizaciones sin ánimo de lucro.

La mayoría de estas fundaciones y organizaciones con huertos en el país, tienen como objetivo principal el empoderamiento de las mujeres. Formándolas en el uso de la paca y la automatización de todo el sistema de riego, siendo ellas las que habitualmente recogen durante varias horas al día agua de los pozos más cercanos, se darán cuenta del gran beneficio que supone su incorporación en los huertos. Logrando este grado de aceptación en tan solo una cooperativa de mujeres, el impacto en la producción agrícola de la zona será, con certeza, reconocible con el paso del tiempo. Un agricultor que sienta

un profundo rechazo hacia la automatización de las actividades agrícolas, al ver que en los huertos vecinos optimizan las producciones empleando menos horas de trabajo, acabará interesándose por el método utilizado e incluso decidirá instalarlo en sus propios terrenos.

Los grandes beneficiados serán también aquellas empresas y aquellos agricultores que cuenten con grandes superficies de terrenos. El hecho de que puedan contratar a personas formadas en el uso de estas tecnologías provocará que su fiabilidad en el éxito del desarrollo de las actividades agrícolas automatizadas se vea reforzada. Además, suelen contar con pozos ya perforados en sus tierras, así como con acceso a la electricidad, por lo que los costes de financiación de la instalación propuesta (Fig. 15) se verían considerablemente reducidos.

6.7.2 Impacto socioeconómico

Los impactos socioeconómicos a destacar del producto propuesto están relacionados con la autonomía que este les confiere:

Los cambios en una comunidad rural aislada como es Nikki, con difícil acceso al agua y a la electricidad, se podrán suponer debido a que estos se centran en una región poco desarrollada y son, en consecuencia, más predecibles. Uno de los impactos más importantes es la capacidad de autogestión de la energía y de la automatización del regadío. Estas instalaciones provocarán un avance de la ciudad de Nikki que le otorgará un grado de libertad hasta ahora desconocido respecto a la dependencia de los recursos energéticos de sus países vecinos. La no dependencia ni de estos países ni de aquellos grupos sociales más altos que tienen acceso a la energía y proporcionan electricidad a la región, contribuirá al cambio de una sociedad jerárquicamente vertical, a una sociedad más horizontal. Además, se sustituirán grandes cantidades de consumo de diésel por una energía limpia y mucho más barata.

El incremento tanto del ahorro como de los ingresos tendrá varias consecuencias en cadena positivas para la población. Aumentando el nivel económico de las familias rurales, que representan un 70% de la población, repercutirá en una mejora de la calidad de vida de los benineses. Se contará con: recursos suficientes para la compra de fármacos y medicinas para los enfermos, tiempo para que los jóvenes reciban la educación que les

corresponda y formación para comprender las nuevas tecnologías a las que se deban adaptar.

La instalación del sistema de riego por goteo también supondrá un beneficio económico para los agricultores. Como ya he comentado anteriormente, el rol de la mujer en las zonas rurales se centra en las labores de los hogares y en la recogida de agua. Desapareciendo la necesidad de realizar estas labores, las jóvenes que no superen la mayoría de edad y cuya ayuda es frecuentemente necesaria en la recogida de agua, podrán contar con tiempo para recibir la misma educación que los hombres, lo cual disminuirá, en el largo plazo, las desigualdades de género y contribuirá al empoderamiento de las mujeres.

La elaboración de productos más sofisticados permitirá su venta en mercados más lejanos e incluso a su exportación. Gracias al buen sistema de carreteras con el que cuenta el país, su transporte no será un impedimento. El puerto de Cotonú facilitará también las exportaciones a países vecinos, lo cual, junto a la disminución de la importación energética, tendrá un efecto positivo en dos de los mayores problemas económicos del país, la disminución de la deuda externa y, en consecuencia, la balanza de cuenta corriente.

6.7.3 Impacto medioambiental

Durante la preparación del terreno, este se adecuará para facilitar la construcción de la instalación. Se aconseja seleccionar un terreno plano (común en la región de Nikki), sin apenas vegetación, para que no sea necesario el uso y despliegue de grandes máquinas y no suponga costes adicionales, y con buena accesibilidad. El terreno deberá ser despejado y allanado, eliminando la capa de vegetación sobre él. Al ser una zona rural, las únicas consecuencias serán el levantamiento de polvo por la limpieza del terreno y el aumento temporal, hasta la finalización de la construcción, de los niveles de ruido en la comunidad. Al tratarse de superficies de tamaño reducido, no supondrá un efecto demasiado molesto para la comunidad.

Durante la construcción y montaje de los paneles, el pozo y el sistema de riego por goteo, se tendrán que tener algunos impactos medioambientales en cuenta: con el fin de proteger los huertos de los ganados se deberán levantar vallas alrededor de los cultivos. Además de la emisión de CO₂ por parte de los camiones necesarios para las construcciones de las instalaciones, la construcción y reparación de las máquinas producirán un aumento de los

residuos plásticos. Al no disponer el país de mecanismos de gestión de residuos y su reciclado, aumentará el peligro de que estos incurran en graves problemas sanitarios y de desechos.

Por otra parte, todos efectos negativos se verán contrapuestos con la clara disminución del consumo de agua y su efecto en el saneamiento de la población. La placa Raspberry Pi 3B+ abastecerá con agua los huertos en los momentos oportunos y en las cantidades exactas que sean necesarias. Durante los meses de mayo a septiembre, este control periódico del regadío cobrará mayor importancia. En esta época del año son frecuentes lluvias torrenciales durante varias horas y cielos despejados durante otras. Las altas temperaturas provocan que se tema por la sequedad de la tierra, por lo que los agricultores tienden a regar en exceso hasta tal punto de ahogar en ocasiones los cultivos, saturándolos de agua y aumentando así el riesgo de que se generen hongos y la huerta acabe destruida. A través de los sensores, la placa identificará el nivel de humedad de los huertos, sabiendo a ciencia cierta cuándo será necesaria la activación de la electroválvula y, en consecuencia, el riego de los cultivos.

7. Conclusiones

Como conclusión de este trabajo, conviene señalar una vez más la “necesidad real de incorporar soluciones innovadoras” (Alfaro y Pascual, 2014) que ayuden a combatir las problemáticas sociales de la comunidad. El trabajo de campo propuesto podrá contribuir directa e indirectamente a la mejora de diversos ámbitos del País que provocan que actualmente Benín se encuentre en el puesto 163 del IDH:

- **Acceso al agua:** la escasez hídrica que afecta a casi la totalidad de la población rural se combatirá mediante la construcción de pozos en los huertos. El contagio de enfermedades se verá significativamente reducido mientras que la productividad agraria incrementará, lo cual beneficiará al desarrollo económico del país.
- **Empoderamiento de las mujeres:** las labores llevadas a cabo por las mujeres, regadío y colecta de agua, se verán automatizadas, por lo que contarán con tiempo para emplearlo en sus hogares con sus hijos y contribuir a su educación, así como para desarrollar nuevas actividades que generen mayores beneficios. A través de estas últimas, su importancia en la contribución económica familiar cobrará fuerza, algo que, con el paso del tiempo, reducirá las desigualdades de género en el país.
- **Acceso a energía:** el desarrollo energético es necesario para poder llevar a cabo cualquier innovación tecnológica en el sector de la agricultura. La instalación de paneles fotovoltaicos no sólo contribuirá al acceso de la energía sostenible sino también a la autogestión de la energía, reduciendo así la dependencia de otros países y las elevadas importaciones.
- **Economía:** todos los factores anteriores contribuirán a la explotación del sector agrario. Viéndose aumentadas las producciones de los huertos y el desarrollo de productos más sofisticados, aumentarán las exportaciones. Por el contrario, las importaciones se verán reducidas principalmente por la capacidad de producción de una energía renovable, cuyo consumo al largo plazo supondrá un ahorro notable para todas las familias beninesas.

- **Educación:** la automatización de las actividades agrarias y los beneficios generados a partir de ella incrementarán la escolarización de la población. La frecuente necesidad de ayuda en los huertos será suplida por la innovación en tecnología agraria, por lo que no será necesaria la colaboración de la población

A pesar del gran choque cultural y la desconfianza en la tecnología, hemos podido ver en otros proyectos llevados a cabo en el país, cómo, con el paso del tiempo, se va normalizando el uso de la misma. La aplicación de la innovación tecnológica agraria propuesta cumplirá su objetivo mediante la creación, imposición y difusión de la tecnología propuesta, a través de su puesta en práctica en el sector agrícola.

Este trabajo de fin de grado tiene como público objetivo a los agricultores de la República de Benín. Sin embargo, el fin de este estudio no se limita a beneficiar tan sólo a los habitantes benineses, sino a todas aquellas familias en el mundo, residentes en países en vías de desarrollo, cuyo poder adquisitivo dependa del sector agrícola. La motivación detrás de este estudio es que sirva de apoyo y de base tanto para futuros proyectos similares como para futuras líneas de investigación que respondan las siguientes preguntas que quedan abiertas.

Una vez alcanzado el grado de aceptación del producto en el sector agrícola:

¿Cómo se comercializará y venderá el producto en el país?

¿Cuál será su impacto económico en el PIB nacional?

8. Bibliografía

- African Development Bank Group. (11 de Mayo de 2018). *African Statistical Yearbook 2018*. Obtenido de <https://www.afdb.org/en/documents/document/african-statistical-yearbook-2018-101789/>
- Alfaro, D., y Pascual, Á. (12 de 12 de 2014). *Nikki's Challenges of Development*. Obtenido de OAN International: <http://bibliotecaon.com/files/Administraci%C3%B3n/OAN-Viajes/General/Nikki%20Challenges%20of%20Development%20-%20OAN%20International%20-%20copie.pdf>
- Auara. (2017). *Pozo en CGE Tamarou*. Obtenido de AUARA: <https://auara.org/pages/proyecto-pozo-en-tamarou>
- Auara. (2018). *Pozo Sansi Gandó*. Obtenido de AUARA: <https://auara.org/pages/proyecto-pozo-sansi-gando>
- Banco Mundial. (2019). *Acceso a la electricidad, sector rural* . Obtenido de <https://datos.bancomundial.org/indicador/EG.ELC.ACCS.RU.ZS?locations=BJ>
- Belward, A., Bisselink, B., Huld, T., Sint, H., Brink, A., Bódis, K., y otros. (2011). *Renewable energies in Africa*. (F. Monforti, Ed.) Obtenido de JRC Scientific and Technical Reports: https://ec.europa.eu/jrc/sites/jrcsh/files/reqno_jrc67752_final%2520report%2520.pdf
- Caballero, C. (16 de Junio de 2017). *La energía ni se crea ni se destruye, solo se comparte*. Obtenido de El País: https://elpais.com/elpais/2017/06/13/planeta_futuro/1497352601_568958.html
- Climate Data. (2018). *Clima Nikki*. Obtenido de <https://es.climate-data.org/africa/benin/borgou/nikki-765513/>
- Datos Macro. (2018). *Benín - Población*. Obtenido de <https://datosmacro.expansion.com/demografia/poblacion/benin>

- Datosmacro. (2019). *Benín: Economía y demografía* . Obtenido de <https://datosmacro.expansion.com/paises/benin>
- Digital Guide. (15 de 5 de 2019). *Digital Guide powered by I&I IONOS*. Obtenido de <https://www.ionos.es/digitalguide/servidores/know-how/un-vistazo-a-proyectos-basados-en-raspberry-pi/>
- Energypedia. (10 de Julio de 2018). *Benin Energy Situation*. Obtenido de https://energypedia.info/wiki/Benin_Energy_Situation
- EOI. (28 de 02 de 2012). *Wiki EOI (Escuela de Organización Industrial)*. Obtenido de https://www.eoi.es/wiki/index.php/Radiaci%C3%B3n_directa,_difusa_y_reflejada_en_Ecomateriales_y_construcci%C3%B3n_sostenible
- FAO, y FAOLEX. (2007). *Loi n° 2006-16 portant Code de l'électricité en République du Bénin*. Obtenido de <https://www.ecolex.org/details/legislation/loi-no-2006-16-portant-code-de-lelectricite-en-republique-du-benin-lex-faoc080564/>
- Fonds Africain de Developpement. (1 de Enero de 2018). *Project de restructuration et d'extension du systeme de repartition et de distribution de la SBEE (PRESREDI)*. Obtenido de https://www.afdb.org/fileadmin/uploads/afdb/Documents/Project-and-Operations/B%C3%A9nin_-_Projet_de_restructuration_et_d%E2%80%99extension_du_syst%C3%A8me_d_e_r%C3%A9partition_et_de_distribution_de_la_SBEE__PRESREDI_.pdf
- Klingspor, C., e Igloi, N. (31 de Enero de 2018). *PNUD*. Obtenido de [¿Cómo avanzar hacia el 2030? ¡Con MAPS!:](https://www.undp.org/content/undp/es/home/blog/2018/how-will-we-navigate-towards-2030--well-be-using-maps-.html)
- Naciones Unidas. (3 de Enero de 1976). *Pacto Internacional de Derechos Económicos, Sociales y Culturales*. Obtenido de <https://www.ohchr.org/sP/Professionalinterest/Pages/cescr.aspx>

- Oficina de Información Diplomática del Ministerio . (Marzo de 2019). *Ficha País: República de Benín*. Obtenido de file:///C:/Users/jaime/Desktop/Icade/Personal/Documentos/BENIN_FICHA%20PAIS.pdf
- Pascual, Á. (12 de 12 de 2014). *Nikki´s Challenges of Development*. Obtenido de OAN International: <http://bibliotecaogan.com/files/Administraci%C3%B3n/OAN-Viajes/General/Nikki%20Challenges%20of%20Development%20-%20OAN%20International%20-%20copie.pdf>
- PNUD. (7 de Junio de 2016). *Agricultores hacen frente a una nueva realidad climática en Benín*. Obtenido de <https://www.undp.org/content/undp/es/home/ourwork/ourstories/agri--et-aquaculteurs-font-face-au-changement-climatique-au-beni.html>
- Raspberry Pi. (2018). *MagPi 68: an in-depth look at the new Raspberry Pi 3B+*. Obtenido de <https://www.raspberrypi.org/blog/magpi-68/>
- Rosillo, B. (28 de Julio de 2018). *Mapa político de Benín con sus 12 departamentos*. Obtenido de Mapa Actual: <https://mapaactual.com/mapa-politico-de-benin-con-sus-12-departamentos/>
- Tritec. (2016). *Tipos de paneles fotovoltaicos* . Obtenido de TRITEC INTERVENTO : <https://www.tritec-intervento.cl/productostritec/tipos-de-paneles-fotovoltaicos/>
- Weather Spark . (2016). *El clima promedio en Nikki*. Obtenido de <https://es.weatherspark.com/y/48868/Clima-promedio-en-Nikki-Ben%C3%ADn-durante-todo-el-a%C3%B1o>
- Worldmeteo. (2019). *El tiempo en Nikki-Wenou, Benín*. Obtenido de <https://www.worldmeteo.info/es/africa/benin/nikki-wenou/tiempo-246456/>