

# PLATAFORMA RECONFIGURABLE DE INVESTIGACIÓN APLICADA A MOVILIDAD SOSTENIBLE

Sandoval-Ruiz, Cecilia

Recibido (10/03/2015), aceptado (22/05/2016)

Universidad de Carabobo, Venezuela

---

**Resumen:** El presente proyecto consiste en el diseño de una plataforma reconfigurable aplicada al desarrollo de vehículos eco-adaptativos, con el propósito de promover la investigación en movilidad sostenible y eficiencia energética. La metodología abordada comprende un estudio de antecedentes en el área, la sistematización de experiencias de diseños prácticos, a partir de los cuales se definen los requerimientos de la plataforma y se enfoca en la reutilización de componentes electrónicos del hardware, lo que permite su adaptación para el desarrollo de prototipos de innovación, esto a través de la programación VHDL con tecnología FPGA. Seguidamente, se presenta la propuesta hardware, la cual integra conceptos de sistemas híbridos y reconfiguración dinámica de los módulos de la plataforma, se describe el algoritmo adaptativo en VHDL, que será base del sistema de configuración. El aporte principal viene dado por el diseño de un módulo adaptable a condiciones climáticas, de longitud reconfigurable (plegable) y con reutilización de los elementos que componen el diseño. Donde se puede concluir que esta propuesta resulta una alternativa versátil para optimización de diseños en movilidad sostenible.

---

**Palabras Clave:** Eficiencia Energética, Energía Alternativa, SHGEE, Diseño Modular, Plataforma reconfigurable, Movilidad Sostenible, VHDL, FPGA.

## RECONFIGURABLE PLATFORM RESEARCH APPLIED TO SUSTAINABLE MOBILITY

---

**Abstract:** This project involves the design of a reconfigurable platform applied to the development of eco-adaptive, in order to promote research into sustainable mobility and energy efficient vehicles. The addressed methodology includes a background study in the area, the systematization of practical designs, from which the requirements of the platform are defined and focuses on the reuse of electronic hardware components, allowing its adaptation to prototype development innovation, this through the VHDL programming FPGA technology. Next, the hardware proposal is presented, which integrates concepts of hybrid systems and dynamic reconfiguration platform modules, the adaptive algorithm in VHDL, which will be based configuration system is described. The main contribution is given by the design of a module adaptable to climatic conditions, reconfigurable length (folding) and reuse of design elements. Where it can be concluded that this proposal is a versatile alternative for design optimization in sustainable mobility.

---

**Key words:** Energy Efficiency, Alternative Energy, SHGEE, Design Modular, reconfigurable platform, Sustainable Mobility, VHDL, FPGA.

### I. INTRODUCCIÓN

Actualmente, se observa un amplio desarrollo en propuestas científico-tecnológicas orientadas a movilidad sostenible, vehículos eléctricos híbridos –VEH, que combina dos o más sistemas energéticos (Ciancio, Spina, Rossi, Juan, & Vega, 2013) y vehículos de emisión cero – VEC, con lo que se puede solventar un porcentaje significativo de contaminación y consumo de energía. Así

como investigaciones que consideran el espacio ocupado por los vehículos (Plaun et al., 1999), donde destaca por sus características ecológicas las bicicletas y versiones optimizadas de éstas, como triciclos que pueden reducir su dimensión en estado de estacionado (Aldana, 2014).

Por otra parte, se pueden estudiar las alternativas eficientes para un número configurable de tripulantes, desde vehículos unipersonales (Castro & Delgado,

2011), biplaza extensible en modo tándem, etc. Todos estos criterios se pueden integrar en un diseño adaptativo que considere la dinámica de funcionamiento para su optimización, definiendo así, el concepto de sistema de transporte reconfigurable (López et al., 2012).

A la vez de considerar los criterios de eco-diseño, se debe tomar en cuenta la evolución en el tiempo de los prototipos, así es como en (Rodríguez, 2013), se plantea un proyecto que da continuidad a una primera implementación, lo que evidencia que la optimización de proyectos experimentales requieren de tecnología apropiada para realizar modificaciones y adecuaciones aprovechando los primeros elementos de construcción. El desarrollo de diseños para movilidad sustentable requiere de un nuevo enfoque en la etapa de conceptualización, por lo que es necesaria la formación y actualización de los profesionales en las universidades, bajo la perspectiva de bajo impacto ambiental, así como diseño modular, que permita la reutilización de partes, configuraciones flexibles del hardware, con el propósito de ampliar la vida útil del diseño, y un enfoque bioclimático para aprovechar las condiciones del entorno.

Es por lo tanto, fundamental establecer estrategias para promover el diseño eco-responsable en el área de ingeniería, esto a través de prácticas experimentales en configuración VHDL (Rondón & Sandoval, 2010), basadas en un ambiente de desarrollo para la investigación (Sandoval-Ruiz, 2014a) y plataformas de investigación, formación y gestión (Sandoval Ruiz, 2016) para el estudio de temas como el uso eficiente de la energía, sistemas híbridos de energía alternativa, eco-diseño, e ingeniería sustentable, para la educación en aspectos de conciencia ambiental, por lo que un proyecto piloto didáctico se perfila como una solución para las necesidades expuestas, en esta oportunidad enfocada al desarrollo de un vehículo eco-adaptativo.

Es así como a partir de experiencias previas en el laboratorio de microcontroladores, se han diseñado prototipos de elementos móviles por accionamiento eléctrico (Valero, Bonilla, Sandoval, & Duque, 2012), que permiten considerar la necesidad de una plataforma de desarrollo para la investigación continua en esta tecnología, así como sistemas adaptativos para eficiencia energética (Sandoval Ruiz, 2013) y elementos de control avanzado para sistemas dinámicos (Sandoval, Velasco, & Díaz, 2008; Sandoval-Ruiz, 2014b).

Al momento de seleccionar la tecnología, un gran

reto para la implantación de sistemas dinámicos, es la gran velocidad de procesamiento y elevada capacidad de cómputo que deben poseer, para responder a un entorno altamente cambiante. En este sentido, una de las tecnologías más versátiles a la hora de procesar señales a nivel de hardware son los FPGA – *Field Programmable Gate Array*, ya que permiten sintetizar circuitos específicos, a partir de código escrito en el lenguaje descriptor de hardware VHDL. Otro aspecto relevante corresponde a las técnicas de diseño que deben abordarse con características de código abierto y flexibilidad para la configuración de los componentes y reducción del consumo de energía, por parte del sistema de control, ya que un circuito integrado demandará un consumo de energía en función de la arquitectura y tecnología, cuya estimación y control pueden realizarse en cualquiera de los niveles de la jerarquía de diseño.

El objetivo principal es diseñar una plataforma móvil, con tecnología FPGA, para la investigación y desarrollo en transporte eco-adaptativos, sobre la cual se puedan desarrollar los códigos de aplicación, así como la extrapolación de hardware reconfigurable a los elementos de diseño proponiendo acoplamientos electromagnéticos, elementos replegables, rieles de extensión telescópicos y conmutadores, para optimizar el consumo de energía, basado en energías renovables y optimización del diseño para movilidad sostenible en ambientes urbanos. Las secciones del trabajo están organizadas a partir de los conceptos asociados a la plataforma reconfigurable, se describe la metodología abordada, se plantea la propuesta, los aportes y finalmente, se establecen las conclusiones.

## II. DESARROLLO

### 1. Conceptos asociados a la Plataforma Reconfigurable para movilidad sostenible

*Los Sistemas Híbridos de Generación de Energía Eléctrica* – SHGEE (Mora, 2008) combinan en un mismo sistema módulos de generación que empleen diferentes recursos energéticos alternativos (Valenciaga, 2001), a través de sistemas fotovoltaicos, sistemas de conversión de Energía Eólica (SCEE), entre otros, así como las tecnologías disponibles, y los criterios de configuración de la estructura de conexión bajo la cual se vinculan los módulos componentes del sistema (Delgado, 2011), según la configuración seleccionada se puede establecer el dimensionamiento del sistema (Pontoriero, 2009), para el diseño propuesto se deja abierta la selección de los módulos generadores de acuerdo a las condiciones

climáticas dinámicas, a fin de particularizar los módulos para alcanzar las mejores prestaciones.

La integración de estos elementos estará dada por medio de un sistema de configuración electrónico, en la que se seleccionó la utilización de FPGAs (Field Programmable Gate Arrays), tecnología que se ha desarrollado rápidamente, debido a la posibilidad de realizar prototipos con tiempos reducidos y con bajos costos de desarrollo. Para el diseño de sistemas digitales es de vital importancia optimizar el consumo de potencia de los circuitos electrónicos, es en tal sentido; la tecnología FPGA, se caracteriza por ser sistemas embebidos ideales para dispositivos móviles, siendo el consumo de potencia un criterio determinante en el diseño, a fin de adaptar el circuito a las condiciones particulares de operación, de modo de ofrecer mejores prestaciones para un consumo eficiente de energía.

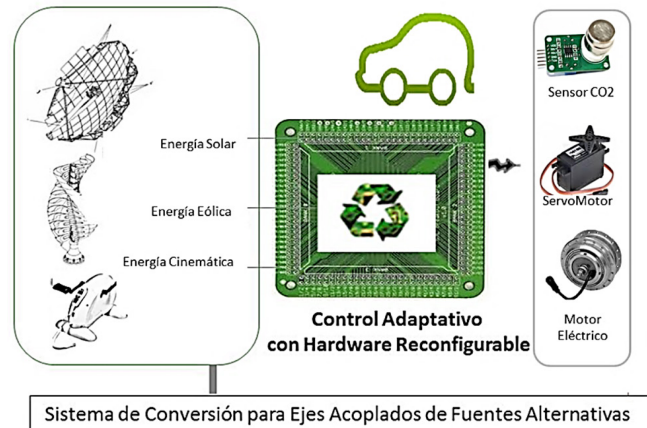
## 2. Metodología

A partir de experiencias prácticas previas en los proyectos del laboratorio de microcontroladores se pudo observar que los logros y avances de algunos equipos del laboratorio, no son reutilizados por otros equipos. Por lo que, resulta primordial abordar los diseños bajo una filosofía de reutilización de componentes y códigos de configuración, que incorpore el reciclado de materiales electrónicos y una modalidad de diseño eco-responsable. La siguiente etapa consistió en la propuesta de integración de conceptos de movilidad sostenible y los prototipos estudiados, con el manejo de componentes flexibles que pueden ser adaptados y optimizados de manera dinámica, a través de un control de configuración soportado por un FPGA, generalizando los diseños (en lo que concierne a tecnología). Este enfoque busca constituir una memoria científica, que permita la accesibilidad por parte de los estudiantes e investigadores a los avances en los diseños, facilitando la optimización de los desarrollos de innovación.

## 3. Propuesta de la Plataforma Reconfigurable para Movilidad Sostenible

De los estudios en el área de movilidad sostenible y hardware reconfigurable, se desarrolló una propuesta que puede ser conceptualizada como una plataforma de I+D+i en tecnologías sustentables, así se plantea el concepto de un vehículo de emisión cero, integrando

módulos de energía alternativa y funciones de configuración, controladas por un FPGA, para control de las funciones del vehículo eco-adaptativo. El diseño conceptual se presenta en la figura 1.



**Figura 1. Diseño Conceptual de la Plataforma Reconfigurable**

De esta manera el objetivo de la plataforma es desarrollar un vehículo ecológico ligero y adaptable, empleando reutilización de componentes para un diseño de bajo costo y bajo impacto ambiental, definido como un cuatri-ciclo. Esta plataforma está diseñada como un vehículo monoplaza- biplaza de tamaño configurable, con funciones adaptativas, para movilidad urbana, de velocidad moderada, para seguridad en las vías de transporte. Además, se propone disminuir el espacio ocupado según el modo de funcionamiento, por medio de un sistema adaptable de la estructura base (chasis), con expansión telescópica longitudinal para ampliación del modelo y una cubierta replegable, para el cierre del vehículo.

Se planteó la integración de módulos de energía alternativa para soportar el conjunto de funciones propias de un vehículo convencional, como es el caso de un sistema de seguridad, luces, señalización, alarmas, adicionalmente con un mecanismo de configuración adaptativo para optimizar su reconfiguración. Se planteó un mecanismo por acoplamiento electromagnético de los ejes de accionamiento, para pedaleo asistido, mediante un motor eléctrico alimentado por el SHGEE como pedaleo en modo tándem, con módulo configurable del número de pasajeros.

En razón de esto se establecieron los criterios de diseño para la plataforma para investigación en movilidad sostenible, que son presentados en la tabla I

Tabla I. Requerimientos de la propuesta de Plataforma Móvil Reconfigurable

Crterios	Propuestas para el sistema Eco-Adaptativo
Configuración del modelo	Diseño de cubierta replegable para aislamiento térmico y protección solar
Temperatura	Acondicionamiento de temperatura, a partir de energía fotovoltaica
Estabilidad del vehículo	Diseñar un Sistema de posicionamiento vertical, para estabilización y robustez de la aplicación
Señalización	Diseño de un Sistema de señalización de bajo consumo, con indicadores de frenado, cruce, intermitentes e iluminación
Seguridad	Sistema de Alarma manejado con tecnología DTMF, para accionamiento por teléfono.
Eficiencia Energética	Diseñar modo de espera para optimización eficiente del consumo de energía durante períodos no operativos.
Modularidad	Diseño por componentes o módulos configurables, de manera que se puedan desmontar etapas o integrar nuevas funciones
Reducción Dimensional	Diseño de rieles replegables para configuración del tamaño del vehículo
Reciclaje	Reutilización de componentes, códigos, módulos
Tecnología Sostenible	Módulos de energía renovable para la alimentación de las etapas funcionales
Tecnología Reconfigurable	Hardware reconfigurable basado en FPGA para actualizaciones del diseño

La promoción de medios de transporte ecológicos, está directamente relacionado con las funciones y optimizaciones de éstas, es por ello fundamental proponer mejoras a estos medios de transporte alternativo, que los haga más competitivos y adaptados a las necesidades de los usuarios, como es el caso de una estructura cerrada, que permita al usuario encontrar un ambiente protegido del sol y las

condiciones climáticas, tal como la propuesta en el diseño.

Para cumplir con los criterios establecidos se diseñaron modos de configuración, para los cuales se pueden acoplar módulos a la estructura y funciones específicas que permiten variar el comportamiento del diseño, estos se detallan en la tabla II.

Tabla II. Características de los Modos propuestos

#### Características por modo de Configuración

##### Modo de Configuración monoplaza abierto:

- Para desplazamiento en ambientes internos (parques, ambientes públicos)
- Sensor de concentración de CO<sub>2</sub>, activa cierre del compartimiento de pasajeros.
- Accionamiento directo por pedales

##### . Estructura compacta

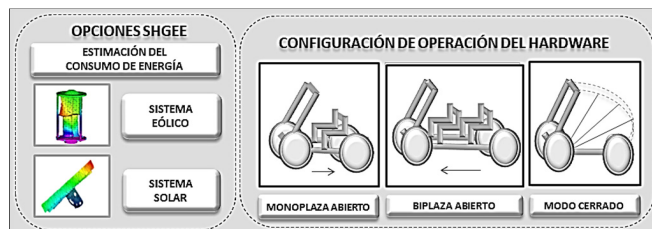
##### Modo de Configuración Biplaza Abierto:

- Para ambientes urbanos
- Expansión del eje trasero
- Accionamiento por pedales (opcional)
- Sistema híbrido para funciones de SEÑALIZACIÓN, acondicionamiento de temperatura y accionamiento asistido de bajo consumo.

**Modo de Configuración Cerrado Plegable:**

- Para estacionamientos
- Ahorro energético
- Cierre por concentración de CO<sub>2</sub>
- Sistema híbrido para funciones de ALARMA, sistema de seguridad, activación de control DTMF y módulos de reconfiguración.
- Optimización del cargador solar

Se propone así como base un vehículo de tracción humana (por pedal), con diseño modular para configuración tándem y pedaleo asistido por motor eléctrico de accionamiento híbrido solar-eólico, con tres modos de configuración básicas. Estas modalidades se representan en la interface de configuración por esquemas de configuración, mostrada en la figura 2.



**Figura 2. Interface de Modos de Operación de la Plataforma Reconfigurable**

Como manejador central del sistema se propone un esquema de control con capacidad de reconfiguración dinámica, que provea de flexibilidad al sistema,

permitiendo la actualización y reutilización de componentes. Para lograr controladores con la capacidad de ajustar sus parámetros a las condiciones de la dinámica del sistema sobre el cual operan, solucionando así los aspectos de flexibilidad y velocidad, a través de dispositivos de alta escala de integración o SoC System on Chip, que a su vez permiten la reconfiguración usando código descriptor de hardware VHDL, con el fin de reducir el tiempo de desarrollo y poder afrontar con éxito este tipo de diseños, programándolos a base de módulos componentes de propósito general.

En tal sentido, se desarrolló una investigación acerca del control adaptativo para el manejo ponderado de entradas sobre un sistema (Castellanos, Sandoval, & Azpurua, 2014) y la descripción del control adaptativo básico del sistema reconfigurable, para la plataforma de investigación. En la programación se empleó el software ISE 11 de Xilinx, se inició por la definición de la entidad del algoritmo adaptativo, usando lenguaje descriptor de hardware VHDL, éste es descrito en la tabla III.

**Tabla III. Algoritmo Adaptativo en VHDL**

```

if clk = '1' and clk'event then
    error <= dn - yn; -- Cálculo del error
end if;
wn1 <= wnt1;
...
yn <= temp;
factor1 <= (u)*(error)*(xn1);
...
-- con el respectivo ajuste de magnitud MSB
wnt1 <= factor1 + wn1; -- el signo de factor viene dado por el signo de error
...
-- con el respectivo ajuste de magnitud MSB
yn <= (wn)*(xn) + (wn2)*(xn2)+ (wn3)*(xn3)+ (wn4)*(xn4);

```



El comportamiento del controlador adaptativo se describe en VHDL, donde el diseñador deberá establecer un mapeo de las señales sobre los componentes definidos, para a partir de las condiciones dinámicas registradas en los sensores, definir el comportamiento del sistema. En el algoritmo descrito se presenta el cálculo de las salidas correspondientes al peso dinámico del control, manteniendo el aporte de los pesos  $w_n$  calculados para el procesado de la señal  $y_n$ . Este esquema de control adaptativo será la base para el desarrollo de las optimizaciones, basadas en la dinámica del sistema a implementar, para el caso particular de los módulos definidos.

#### 4. Aportes de la Plataforma Reconfigurable para Movilidad Sostenible.

La propuesta diseñada es altamente flexible en la etapa de configuración, ya que se pueden seleccionar los módulos de micro-conversión a implementar, de acuerdo a las condiciones climáticas de la zona y preferencias del usuario, a fin de obtener el rendimiento máximo. En la plataforma, se seleccionó un panel fotovoltaico, un aerogenerador de eje vertical (módulo expansible con arreglo de convertidores) y un sistema de pedaleo, combinación de fuentes primarias para auto-abastecer la carga de las funciones, que comprende el circuito de control.

La estructura modular, permite incorporar módulos funcionales y estructuras monoplaza-biplaza, estructuras telescópicas de expansión, en este caso se acopla un sistema de pedaleo tándem para asistir el trabajo de tracción humana del piloto, y el replegado de la cubierta, que permite obtener una plataforma cerrada en ambientes urbanos, con acondicionamiento de temperatura y una configuración abierta para espacios públicos, como es el caso de parques y universidades.

### III. CONCLUSIONES

Gracias al estudio de tecnologías sustentables, diseño modular y hardware reconfigurable, se ha podido proponer una plataforma para investigación en movilidad sostenible, basado en el principio de respeto medio ambiental, que permita avances en el área de ingeniería, con la filosofía de diseño eco-responsable, para ingenieros y diseñadores en el área.

De esta manera, se pueden asumir nuevas iniciativas para implementación de un modelo experimental, ya

en (Sandoval Ruiz, 2013) y (Sandoval Ruiz, 2016) se conjuga elementos convertidores de energía eléctrica, a partir de fuentes de energía renovable, sin embargo este concepto de diseño híbrido no se había integrado en una plataforma móvil adaptativa, como la que este proyecto se propone, aplicando tecnología FPGA.

Incluir en la plataforma de investigación, tecnología de hardware reconfigurable y diseño modular para el control de las funciones, provee de flexibilidad al diseño, lo que soluciona la problemática de obsolescencia programada, en este punto se propone el diseño del sistema de alarma de seguridad a partir de componentes reciclados, para desarrollar diseños electrónicos más ecológicos y ofrece una ventaja en optimizaciones e integración de nuevas funciones adaptadas a las condiciones y requerimientos. Otro aporte de interés, corresponde a la configuración de un algoritmo de control avanzado, con el propósito de manejar las funciones de la plataforma basadas en el concepto eficiencia energética, donde las funciones serán priorizadas de acuerdo a las condiciones dinámicas del sistema, permitiendo a los investigadores obtener configuraciones más eficientes.

Sistematizar los requerimientos ha permitido establecer el diseño conceptual de un modelo versátil para movilidad sustentable, con la integración de avances previos, a la vez que el concepto de reconfiguración parcial dinámica, permite la optimización de los componentes del sistema híbrido, la incorporación de nuevas funciones y actualización del prototipo de vehículo eco-adaptativo, por parte de los diseñadores.

### IV. REFERENCIAS

- [1] Aldana, D. (2014). *Proyecto de adaptación de un triciclo para el uso de personas con disminución de la movilidad física*. Retrieved from file:///C:/Users/Usuario/Downloads/daniel.aldana\_94144.pdf
- [2] Castellanos, J., Sandoval, C., & Azpurua, M. (2014). *A FPGA implementation of a LMS adaptive algorithm for smart antenna arrays*. Rev. Téc. Ing. Univ. Zulia., 37(3), 270–278.
- [3] Castro, D., & Delgado, J. (2011). *Diseño y Construcción de un Prototipo Experimental de un Vehículo Eléctrico Autobalanceado Unipersonal VEAU*. Universidad Industrial de Santander UIS.

- [4] Ciancio, P. M., Spina, M. A., Rossi, S. R., Juan, R., & Vega, D. (2013). *Desarrollo de un vehículo experimental con sistema híbrido de energía*. RCI Revista Cubana de Ingeniería, IV(2), 49–57. Retrieved from [http://revistascientificas.cujae.edu.cu/Revistas/Ingenieria/Vol-4/2-2013/07\\_rci\\_2013\\_02\\_p.49-57.pdf](http://revistascientificas.cujae.edu.cu/Revistas/Ingenieria/Vol-4/2-2013/07_rci_2013_02_p.49-57.pdf)
- [5] López, J., Pérez, D., Pinillos, R., Domínguez, S., Zalama, E., & Gómez-García-Bermejo, J. (2012). *Diseño y desarrollo de un sistema de transporte reconfigurable para entornos hospitalarios*. Revista Iberoamericana de Automática e Informática Industrial RIAI, 9(1), 57–68. doi:10.1016/j.riai.2011.11.008
- [6] Mora, A. (2008). *Estudio de Arquitecturas VLSI de la Etapa de Predicción de la Compensación de Movimiento, para Compresión de Imágenes y Video con Algoritmos*. Aplicación al Estándar H.264/AVC Tesis doctoral. Universidad Politécnica de Valencia.
- [7] Plaun, L., Rivera, R., Salinas, D., Cistac, L. C., Obrutsky, S., & Polti, J. L. (1999). *Triciclo Ecológico Híbrido Argentino (TEA)*. XIX CONGRESO NACIONAL DE INGENIERÍA MECÁNICA, 1–7. Retrieved from <http://www.xixcnim.uji.es/CDActas/Documentos/ComunicacionesPosters/18-29.pdf>
- [8] Rodríguez, C. (2013). Carlos Eiler Rodríguez Coca. Universidad Nacional de Colombia. Retrieved from <http://www.bdigital.unal.edu.co/12910/1/300044.2013.pdf>
- [9] Rondón, J., & Sandoval, C. (2010). *Diseño de un colaborador remoto basado en programación modular de dispositivos VHDL aplicado a telecomunicaciones*. Facultad de Ingeniería UCV, 25(2). Retrieved from <http://www.scielo.org.ve/pdf/rfiucv/v25n2/art02.pdf>
- [10] Sandoval, C., Velazco, K., & Díaz, J. (2008). *Accionamiento eléctrico de sistemas dinámicos a través de criterios de control óptimo*. Rev. Ing e Investigación, 28(2), 66–71. Retrieved from <http://www.redalyc.org/pdf/643/64328210.pdf>
- [11] Sandoval Ruiz, C. (2013). *Diseño conceptual de un módulo híbrido para Generación eléctrica*. VIII Congreso Nacional y 2do Congreso Internacional de Investigación Universidad de Carabobo. Retrieved from <http://congreso.cdch.uc.edu.ve/>
- [12] Sandoval Ruiz, C. (2016). *Plataforma de Gestión, Investigación y Formación en Tecnologías Sostenibles para soporte de un laboratorio remoto*. Revista Eduweb UC, 10(1), 1–7.
- [13] Sandoval-Ruiz, C. (2014a). *Entorno Colaborativo de Investigación Científica - ECIC: Propuesta basada en Web-Lab y redes asesorías*. Revista de Tecnología de Información y Comunicación en Educación Eduweb, 8(2), 69–82. Retrieved from <http://servicio.bc.uc.edu.ve/educacion/eduweb/v8n2/art06.pdf>
- [14] Sandoval-Ruiz, C. (2014b). *Adaptive Control in VHDL Applied to a Solar Oven*. Revista Colombiana de Tecnologías de Avanzada, 1(23), 142–147. Retrieved from [http://www.unipamplona.edu.co/unipamplona/portallIG/home\\_40/recursos/04\\_v19\\_24/revista\\_23/27092014/21.pdf](http://www.unipamplona.edu.co/unipamplona/portallIG/home_40/recursos/04_v19_24/revista_23/27092014/21.pdf)
- [15] Valero, J., Bonilla, Y., Sandoval, C., & Duque, C. (2012). *Sistema de Control de una Silla de Ruedas para Seguimiento Automático*. Memorias del Congreso ASME USB (pp. 1–7).