

**Baja SAE USB como caso de aprendizaje orientado por proyectos desde la perspectiva del paradigma de la complejidad**

**Renzo Boccardo Irigoyen**

Universidad Simón Bolívar (Venezuela)

**Resumen**

El desarrollo tecnológico impulsa cambios profundos en nuestra sociedad y cultura y, por esta razón, es necesario estar preparados. Hoy en día, la información está disponible en cualquiera de las ventanas computacionales conectadas en red. Por otra parte, el saber está asociado al conocimiento significativo y, en consecuencia, cada persona debe construir su conocimiento ligándolo a las experiencias previas. Bajo este contexto, es indispensable hacer cambios en los sistemas educativos que permitan preparar nuevos profesionales capaces de desempeñarse dentro de ésta dinámica cambiante. En este artículo se presentan algunos conceptos relacionados con la necesidad de un nuevo

**Baja SAE USB as if project-oriented learning from the perspective of the paradigm of complexity**

**Renzo Boccardo Irigoyen**

Universidad Simón Bolívar (Venezuela)

**Abstract**

Since technological development generates profound changes in our society and culture, it is important to be prepared for these modifications. Nowadays, information is available in any computer connected to the internet. Moreover, wisdom is associated with significant knowledge and, therefore, every individual must build their knowledge linking it to previous experiences. In this context, it is essential to introduce changes in educational systems to prepare professionals able to deal within this changing dynamical situations. In this article are presented some theories related with the need of a new epistemological paradigm in order to

paradigma epistemológico para entender el proceso enseñanza-aprendizaje, y se propone el paradigma de la complejidad que aporta la visión sistémica del problema, resaltando la importancia de las relaciones existentes entre los elementos a estudiar. Se realiza una breve revisión conceptual de la metodología del aprendizaje basado en proyectos como una alternativa de aprendizaje. Adicionalmente, se expone el enfoque epistemológico de la complejidad y sus principios más trascendentales. Finalmente, se describe un caso de estudio práctico, Baja SAE USB, bajo la perspectiva del paradigma de la complejidad donde grupos de estudiantes se conforman en un equipo de trabajo, que basados en el aprendizaje orientado por proyectos diseñan, construyen y prueban un prototipo de vehículo todo terreno, según las normas de la Asociación de Ingeniería Automotriz de los Estados Unidos, para competir internacionalmente.

understand teaching concepts, moreover the complex paradigm is proposed that provides the systematic vision of the problem, highlighting the importance of the existing relationship between the elements to be studied. A brief review of the conceptual methodology of the project-based learning as a learning alternative. Additionally, the epistemological approach to complexity and its primary principles are discussed. Finally, a practical case of study in the Simon Bolivar University (Caracas, Venezuela) is described, in which a project-based learning from the point of view of complexity paradigm is demonstrated. Students are gathered as a team and based in the project-based learning; they design, build and try an all terrain prototype following the rules of the Automotive Society of Engineering of the United States to compete internationally.

**Palabras clave:** Aprendizaje, Aprendizaje basado en proyectos, Complejidad.

**Key words:** Learning, Project-based learning, Complexity.

## Introducción

El modelo educativo no ha cambiado sustancialmente desde los inicios de la Universidad, el maestro como sabio transmite estos conocimientos a sus discípulos los cuales pasivamente toman notas, no obstante la sociedad y la cultura si han cambiado sustancialmente.

El desarrollo actual de la tecnología ha provocado cambios sustanciales en la sociedad, los conocimientos están al alcance de todos a través de las ventanas computacionales conectadas en red. Pero los conocimientos significan poco si no podemos estructurarlos y relacionarlos. Todo conocimiento nuevo necesita ser aprendido relacionándolo con la experiencia previa para que resulte con significado (Carpim, Behrens y Torres, 2014, pág. 93).

En esta línea de pensamiento surgen modelos de aprendizaje centrados en los estudiantes, en los cuales el protagonismo pasa de estar en el que enseña a estar en el que aprende. El aprendizaje colaborativo, el aprendizaje basado en problemas y el aprendizaje basado en proyectos son algunos de estos nuevos modelos del proceso enseñanza – aprendizaje.

El desarrollo de un proyecto requiere la resolución de múltiples y variados problemas de índole interdisciplinaria, ello ofrece muchas y diversas oportunidades de aprendizajes. Un proyecto bien estructurado ofrece además los elementos de motivación al logro, que proporciona a los participantes las condiciones adecuadas para sortear cualquier obstáculo que se le presente.

El paradigma tradicional en la ciencia, basado en el positivismo lógico, divide un problema en partes sencillas y se limita a estudiar cada una de ellas por separado. Intenta de esta manera determinar las causas y los efectos (Martínez, 2002).

El proceso de enseñanza aprendizaje resulta complejo en su naturaleza. Depende de gran cantidad de variables y la mayoría de ellas no son medibles fácilmente. Se requiere entonces de un nuevo paradigma epistemológico que permita una visión sistémica que contribuya a entender cada una de las partes, sus relaciones y el todo que conforman (Pabón, 2011; Martínez, 2002).

En este artículo se presentan los conceptos relacionados con el aprendizaje basado en proyectos y con el paradigma epistemológico de la complejidad actualmente en construcción. Todos estos conceptos teóricos son reflejados en un caso de estudio que ilustra cómo equipos conformados por estudiantes universitarios a lo largo de algunos años, han gestionado su aprendizaje.

El caso de estudio describe desde la perspectiva de los sistemas, como un grupo de estudiantes logra conformarse en un equipo de trabajo enfocados en resolver un problema multidisciplinario de ingeniería, y competir internacionalmente con otros equipos similares de otras universidades.

## **Necesidad de un nuevo paradigma epistemológico para entender el proceso enseñanza aprendizaje**

El modelo educativo tradicional está basado en el convenio, “si tú haces,... yo te doy”. Esto ha provocado que los estudiantes no valoren el significado del proceso de aprendizaje; por el contrario, adquiere para ellos mayor significado o valor lo que pudiera preguntárseles en el examen, con lo cual el estudiante no se esfuerza por adquirir el aprendizaje sino por una calificación que le permita aprobar la asignatura (Boccardo, 1999). Desde el punto de vista conductual el proceso de enseñanza – aprendizaje se reduce a producir los estímulos adecuados para obtener la respuesta esperada, con ello es posible un modelaje lineal, por lo que el enfoque epistemológico basado en el positivismo lógico resulta adecuado y suficiente. Este enfoque proporciona un marco de referencia reduccionista que mantiene una visión fragmentada de la naturaleza (Behrens, 2010).

Cuando el enfoque es cognitivo la cantidad de las variables involucradas es mayor, se hace prácticamente imposible medirlas y cuantificarlas sin caer en excesivos reduccionismos.

La globalización económica y la difusión de innovaciones tecnológicas imponen un nuevo ritmo no sólo en la obtención de los conocimientos especializados, sino que requieren la adquisición de habilidades socio-comunicativas, nuevos lenguajes y

la voluntad de aprender continuamente. Se hace necesaria una práctica pedagógica en función de la construcción del conocimiento contextualizado y vinculado al hacer, al ser y al vivir, que permiten a los estudiantes a reflexionar, investigar y entender conceptos para la aplicabilidad práctica (Carpim, Behrens y Torres, 2014; Delors, 1996). Se hace necesario un enfoque que permita enfrentar el problema desde una perspectiva multifactorial, desde las partes al todo y desde el todo a las partes (Pabón, 2011). Se hace necesario un enfoque que permita estudiar cada uno de los factores involucrados así como también las relaciones entre ellas y el todo que la conforma.

## Aprendizaje basado en proyectos

La bibliografía especializada reporta los inicios de esta metodología en los años '60, a partir de una reforma curricular en la facultad de medicina de Western Reserve University (Grant, 2002; Sató & Catalán, 2013).

El Aprendizaje Basado en proyectos pretende estructurar el pensamiento para su uso en situaciones reales, desarrollar razonamiento crítico, un aprendizaje auto-dirigido efectivo y aumentar la motivación para el aprendizaje (Guisasola & Garmendia, 2014; Pabón, 2011). Implica cambiar la manera de la enseñanza mecánica y memorística para enfocarse en un trabajo más retador y complejo, utiliza un enfoque interdisciplinario en lugar de uno por área o asignatura y estimula el trabajo cooperativo (NwREL, 2006).

El objetivo del proyecto en esta metodología “es ayudar en la solución de problemas que son complejos y no tienen soluciones sencillas” (Martí, Heydrich, Rojas y Hernández, 2010, pág. 14). Específicamente, el aprendizaje basado en proyectos está orientado a:

- Mejorar la habilidad para resolver problemas y desarrollar tareas complejas
- Mejorar la capacidad de trabajar en equipo
- Desarrollar las capacidades mentales de orden superior
- Aumentar el conocimiento y habilidad en el uso de las TIC en un ambiente de proyectos
- Promover una mayor responsabilidad por el aprendizaje propio (Martí, Heydrich, Rojas y Hernández, 2010, pág. 14).

Para cumplir con estos propósitos, los proyectos seleccionados deben estar centrados en el estudiante y dirigidos por los estudiantes, su duración temporal debe estar definida es decir, inicio, un desarrollo y un final. Debe proporcionar una desafío óptimo que mantenga el interés y la motivación de los alumnos, deben estar basados en problemas reales, ser capaces de propiciar oportunidades de realimentación y evaluados por parte de expertos y en general promover oportunidades para la reflexión y la auto evaluación por parte del estudiante (Maldonado Pérez, 2008).

El docente pasa a ser un facilitador cuyo objetivo es asegurar el aprendizaje, su misión principal es proporcionar el soporte necesario para que la información

multidisciplinar fluya sin inconvenientes, proporciona además un seguimiento de cada estudiante y contribuye en la reflexión y el tratamiento profundo y conceptual de los problemas que se presenten en las diferentes fases del proyecto (Guisasola & Garmendia, 2014).

## El paradigma de la complejidad

El paradigma de la complejidad es el resultado de la aparición de una serie de situaciones que no se pueden explicar al utilizar como marco epistemológico el paradigma tradicional en la ciencia. Algunos de estos problemas provienen de la física (Behrens, 2010, 2007), otros de la matemática y de la biología. A partir de estas situaciones problemáticas o anomalías se plantean los diferentes caminos en la búsqueda de un nuevo paradigma que las explique de una mejor manera, es lo que Thomas Kuhn llama una “revolución” (Kuhn, 2000; Pérez, 1999), planteándose entonces un nuevo paradigma epistemológico, el paradigma de la complejidad (Boccardo, 2010).

No existe el paradigma del pensamiento complejo de manera estructurada, actualmente está en construcción, “...es equivocado buscar en él un pensamiento consolidado... El pensamiento complejo puede entenderse, entonces, como la disposición de apertura ante la crisis del paradigma de la simplificación y la reducción” (Moreno, 2002, pág. 22), y tiene su origen en los desarrollos de la teoría general de sistemas, en la cibernética y en la teoría de la información. A su vez el paradigma de la complejidad se nutre de diversas propuestas teóricas, relativamente recientes, orientadas a explicar esas situaciones problemáticas o anómalas que al paradigma tradicional positivista de la ciencia no le es posible explicar; el principio de incertidumbre que destaca la importancia del sujeto en la observación, las teorías cuánticas que sustituyen lo determinístico por lo probabilístico en la ciencia; el teorema de la imposibilidad de la completitud de los sistemas formales lógicos de Gödel; la autorganización vista desde la perspectiva de la física como estructuras que disipan energía o alejadas del equilibrio termodinámico, desde la biología con la propuesta de la autopoiesis de Maturana y Varela, y desde la matemática con las nociones del caos (Boccardo, 2010).

Una revisión de algunos autores que han reflexionado y contribuido con el paradigma de la complejidad sostienen una serie de principios (Morin, 2004; Gómez & Jiménez, 2002), postulados (Martínez, 2002) o mandamientos (Morin, 1984), que luego de realizar un proceso de síntesis se pueden condensar en los siguientes cuatro grandes principios: el principio sistémico; el principio de auto-eco-organización; el principio dialógico y el principio de la integración del conocedor dentro del conocimiento (Boccardo, 2010).

### El principio sistémico

El principio sistémico proporciona la estructura y la organización, “liga el conocimiento de las partes con el conocimiento del todo (...) la idea sistémica que se opone a la reduccionista es que el todo es más que la suma de las partes” (Morin, 2004, pág. 123).

Nuevas propiedades, que no están presentes si se consideran las partes de manera individual, emergen de la organización del todo. Estas nuevas cualidades son

producidas por la organización e interacción que presentan las partes formando el todo (Morin, 2004; Gómez & Jiménez, 2002), de esta manera, “el comportamiento de cada parte depende del estado de las otras, pues todas se encuentran en una estructura que las interconecta” (Martínez, 2002, pág. 133).

Así mismo esta característica organizativa, vista desde la perspectiva sistémica, involucra una propiedad según la cual “el todo está en cada parte, y cada parte está en el todo”, tal cual como cada parte de un holograma comprende el holograma completo y viceversa, o el código genético en las células (Morin, 2004; Gómez & Jiménez, 2002; Martínez, 2002).

Los sistemas tienen una serie de propiedades que vale la pena mencionar, entre ellas está la sinergia y la recursividad. Se entiende que un sistema posee sinergia “cuando el examen de una o alguna de sus partes (incluso a cada una de sus partes) en forma aislada, no puede explicar o predecir la conducta del todo” (Johansen, 2004, pág. 43). Es decir, que para explicar las características globales es necesario analizar y estudiar todas sus partes, las relaciones entre ellas y entre las partes y el todo que las conforma.

La recursividad se entiende por el hecho “...de que un objeto sinérgico, un sistema, esté compuesto de partes con características tales que son a su vez objetos sinérgicos (sistemas)” (Johansen, 2004, pág. 44). De esta forma se pueden establecer cadenas de sistemas igualmente interrelacionados bajo la base de este principio, desde lo más pequeño hasta lo más grande, desde lo más simple hasta lo más complejo (Boccardo, 2010).

### **El principio de auto-eco-organización**

El principio de auto-eco-organización comprende los aspectos de la tendencia al orden en los sistemas abiertos. Los estudios de Prigogine (1986, 1988) exponen que los sistemas abiertos, lejos de su condición de equilibrio, generan reorganizaciones formando nuevas entidades de órdenes superiores (Martínez, 2002).

### **El principio dialógico**

Edgar Morin al respecto indica que “la dialógica permite asumir racionalmente la inseparabilidad de unas nociones contradictorias para concebir un mismo fenómeno complejo” (Morin, 2004, pág. 126), por ejemplo en la ciencia, concretamente en física, se habla de la naturaleza dual de la luz como corpúsculo y como onda. Se ha hecho necesario concebir teorías estructuradas bajo la complejidad que tomen en cuenta ambas concepciones. En este orden de ideas Miguel Martínez indica que “la realidad necesita ser enfocada desde muchos ángulos diferentes para ser ilustrada y dilucidada adecuadamente en sus poliédricas facetas” (2002, pág. 154), ello hace necesario conjugar visiones a veces conflictivas a fin de lograr integrarlas, para poder captar la realidad como un todo coherente y complementario (Boccardo, 2010).

### **El principio de la integración del conocedor dentro del conocimiento**

En el principio de integración del conocedor en el conocimiento “opera la restauración del sujeto (...) todo conocimiento es una reconstrucción/traducción por un espíritu/

cerebro en una cultura y en un tiempo dados” (Morin, 2004, pág. 127). Es decir, “el conocimiento humano será el resultado de una dialéctica o de un diálogo entre estos dos componentes: objeto y sujeto” (Martínez, 2002, pág. 146). Esto involucra además al principio dialógico explicado anteriormente, según el cual los dos elementos, sujeto y objeto, antagónicos por naturaleza, son necesarios y complementarios en esta visión compleja de la realidad.

En conclusión lo complejo es aquella persona, fenómenos, situación o resultado que no puede ser explicado linealmente por cada uno de los hechos, sino mediante la concurrencia de todos ellos. Como se expresó con anterioridad, el paradigma de la complejidad está relacionado con “conceptos como emergencia, interactividad, diversidad, novedad, bifurcación, recursividad, auto-organización, dialogicidad (...) por no hablar de conectividad, impacto, emocionalidad, novedad-ética, flexibilidad estructural” (de la Torre & Moraes, 2006, pág. 50).

## **Baja SAE, como aprendizaje orientado por proyectos en la Universidad Simón Bolívar, en Caracas, Venezuela**

El programa Baja SAE, organizado por la Asociación de Ingeniería Automotriz de los Estados Unidos (SAE por sus siglas en inglés), es una competencia de diseño en ingeniería en la que participan numerosos equipos de estudiantes de pregrado y posgrado provenientes de diversas universidades, fundamentalmente de los Estados Unidos, Canadá, Brasil y México. El objetivo principal es la simulación de un mundo real en el diseño de ingeniería con sus proyectos y problemas relacionados (SAE, 2014).

El origen de estas competencias se remonta al año 1976. Desde entonces las series de competencias Baja SAE han crecido hasta convertirse en uno de los principales eventos de diseño en ingeniería para equipos compuestos por estudiantes de las diversas carreras relacionadas (SAE, 2014).

Concretamente, el objetivo de cada equipo es diseñar, construir y probar un prototipo de vehículo para terrenos accidentados, de un sólo ocupante, fácil de transportar, fácil de mantener, divertido y seguro de conducir dentro de los límites de la normativa estipulada (SAE, 2014).

Así mismo la competencia se enfoca en favorecer oportunidades para que los estudiantes aprendan y entiendan los aspectos relacionados con la seguridad, el diseño, fabricación y pruebas necesarias para producir un vehículo seguro y competitivo. Fundamentalmente proporciona una experiencia de aprendizaje para los estudiantes involucrados en el proyecto (SAE, 2014).

Las competencias cuentan con dos tipos de eventos o pruebas, las primeras consisten en las pruebas estáticas que están destinadas a la evaluación técnica del diseño y los costos del prototipo. El segundo grupo de eventos o pruebas, las dinámicas, están orientadas a evaluar el desempeño del prototipo en las diferentes condiciones posibles del terreno.

Los eventos estáticos comprenden las siguientes pruebas:

- Inspección técnica, consiste en una revisión rigurosa del prototipo para asegurar el cumplimiento adecuado de todas las normas establecidas para la competencia, que básicamente están orientadas a asegurar la seguridad integral del piloto y los demás participantes.
- Diseño, comprende los resultados de un informe escrito de diseño que cada uno de los equipos envía previamente a la organización; y una exposición oral ante una serie de jueces evaluadores en las áreas de originalidad, innovación, fabricación, suspensión, conducción, frenos, diseño estructural, ergonomía y confort, producción en masa, transmisión y potencia, facilidad de servicio, entre otras.
- Costo, son evaluados los aspectos relacionados con el costo de producción del prototipo, es necesario considerar todas las partes comerciales adquiridas así como también los costos asociados a la fabricación y ensamblaje del prototipo.
- Los equipos favorecidos con las mejores puntuaciones en los eventos de costos y exposición de diseño, son reevaluados por los jueces encargados y podrán ser objeto de reclasificación en el orden final de la evaluación.
- Los eventos dinámicos comprenden las siguientes pruebas:
  - Aceleración: consiste en la medición del tiempo empleado en recorrer una distancia de 30,5 m (100ft) desde una posición inicial en reposo.
  - Tracción: según sea la competencia consiste en subir una colina con una pendiente pronunciada o en tirar de un trineo de carga la mayor distancia posible.
  - Maniobrabilidad: el objetivo de esta prueba es evaluar el comportamiento de la suspensión y la manipulación de la dirección, para lo cual el prototipo deberá transitar por una pista con obstáculos diseñados a este fin.
  - Pruebas especiales: dependiendo del lugar de la competencia estas pruebas consisten en transitar a través de un canal lleno de lodo, o el desarrollo de una pista con obstáculos como saltos, rocas o troncos, destinados a ensayar la suspensión y la tracción del prototipo.
  - Durabilidad: (fig. 1), es considerada la prueba más importante de los eventos dinámicos, consiste en transitar por una pista con diferentes obstáculos en los que cada uno de los vehículos participantes son puestos a prueba. Este evento tiene una duración de cuatro horas en las que todos los participantes recorren simultáneamente la pista.





*Fuente: Elaboración propia.*

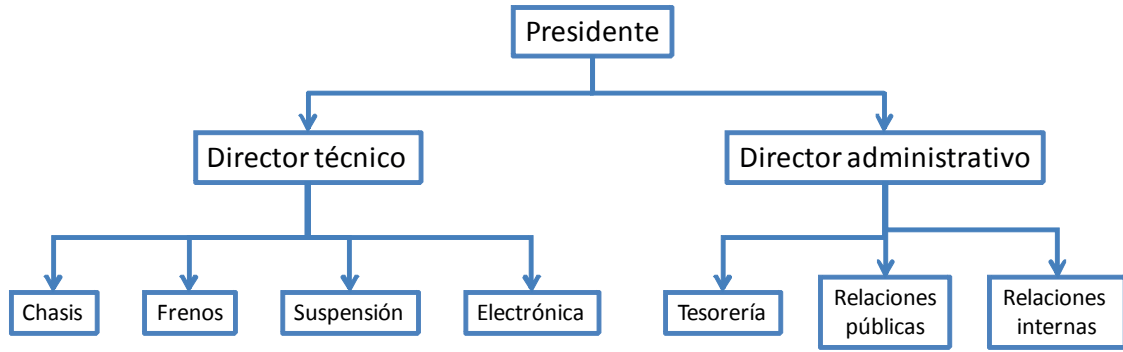
**Figura 1.** Inicio de la prueba de durabilidad, Baja SAE Wisconsin 2009.

La máxima puntuación la recibe aquel equipo cuyo prototipo alcance el mayor número de vueltas a la pista en el tiempo establecido. Es frecuente observar diferentes colisiones entre los prototipos participantes, así como también desperfectos de diversa índole, en cuyo caso el vehículo es remolcado hasta un área de reparaciones y si está capacitado regresa a la competencia de durabilidad.

Como se puede observar, los eventos son desarrollados con el fin de evaluar el desempeño del prototipo y resultan sumamente completos y estrictos, con lo cual la evaluación final toma en cuenta la creatividad, el conocimiento, la capacidad de fabricación y la capacidad de respuesta que tiene cada uno de los equipos estudiantiles que participan.

En la Universidad Simón Bolívar, en Caracas Venezuela, el Proyecto Baja SAE USB consiste en la conceptualización, diseño, fabricación y prueba de un vehículo tipo “todo terreno”, monoplaza, destinado a una competencia internacional. La primera participación del equipo de la Universidad Simón Bolívar fue en el año 2006 y desde entonces, se ha producido un prototipo para asistir a una competencia cada año. El proyecto es coordinado y realizado en su totalidad por estudiantes fundamentalmente de ingeniería mecánica, ingeniería de producción e ingeniería electrónica, aunque también participan estudiantes de otras carreras. La experiencia resultante es interdisciplinar y abarca procesos muy variados, con este fin los estudiantes se estructuran en un arreglo similar al de una pequeña empresa de desarrollo tecnológico, que consiste en un presidente que es asistido por un director administrativo y un director técnico, quienes a su vez tienen a su cargo una serie de divisiones encargadas de manera particular del desarrollo de cada una de las actividades específicas del proyecto.

La Fig. 2 representa el diagrama organizacional según el cual el equipo Baja SAE USB se encuentra estructurado.



Fuente: Elaboración propia.

**Figura 2.** Diagrama organizacional del equipo Baja SAE USB.

Esta estructura les permite realizar todas las actividades necesarias en las diferentes etapas del proyecto listadas a continuación:

- Procura de los recursos necesarios, en este sentido son necesarias visitas a empresas públicas y privadas que pudieran patrocinar el proyecto a fin de realizar diversas presentaciones.
- Manejo financiero de los recursos, los recursos monetarios son administrados por un proyecto debidamente inscrito en la Fundación de Investigación y Desarrollo de la Universidad Simón Bolívar, que cuenta con la infraestructura administrativa para ello. No obstante la procura, adquisición y rendición de cuentas las realizan los estudiantes encargados de esta labor.
- Desarrollo conceptual, luego de un análisis y discusiones detalladas de los resultados de las competencias anteriores, del desempeño observado por los prototipos previamente construidos y de aquellos realizados por los otros equipos participantes, se plantea el concepto de diseño es decir, los principios clave que deberán dirigir el desarrollo del prototipo a construir.
- Desarrollo en detalle, partiendo de las revisiones de los diseños y los trabajos realizados en años anteriores y tomando en cuenta los aspectos conceptuales de diseño ya consensuados en las etapas anteriores, se realizan los cálculos, simulaciones, modelos funcionales, etc., de cada uno de los sistemas que componen el prototipo.
- Construcción del prototipo, en esta etapa se materializan los diseños, para lo cual es necesario adquirir las numerosas destrezas prácticas para la construcción y ensamblaje de los diferentes componentes del prototipo, entre ellas procesos de soldadura, mecanizado convencional y control numérico, entre otras.
- Pruebas, esta fase comprende todos aquellos aspectos relacionados con la puesta a punto de prototipo y la realización de las pruebas necesarias a fin de garantizar el mejor desempeño en la competencia. Son diseñadas con el objetivo de encontrar los valores óptimos en las diferentes configuraciones del vehículo que garanticen un mejor desempeño del mismo. Para ello el prototipo es preparado con una serie de sensores que miden diversas variables de funcionamiento. El

análisis detallado de estos datos permite seleccionar los mejores valores para cada variable a configurar dependiendo de la naturaleza de la competencia.

- Gestión internacional, debido a que el evento es desarrollado fuera del país es necesario realizar todas las gestiones pertinentes al traslado del prototipo, trámites que incluyen permisos de exportación e importación temporal, así como también las gestiones gubernamentales necesarias para traslado y manutención del equipo humano en el exterior. Es indispensable además gestionar la logística del viaje es decir, hoteles, alquiler de vehículos, compras necesarias, inscripción en el evento entre otras actividades relativas a la participación en la competencia.

Resulta interesante mencionar que los estudiantes participantes pertenecen a diferentes carreras de pregrado, independientemente del año que cursen. Los únicos requisitos exigidos son ser estudiante regular y estar motivados por aprender y aportar tiempo y energía al proyecto. La universidad aporta el uso de los espacios y laboratorios para la construcción del prototipo, pero el costo de la procura de materiales, envío al lugar del evento en los Estados Unidos, boletos aéreos y hospedaje durante los días de la competencia, que puede llegar a los 60.000 USD, provienen del patrocinio de empresas públicas o privadas gestionados por los mismos estudiantes del equipo. La motivación con que estos grupos de estudiantes afrontan el reto ha permitido la participación de la Universidad Simón Bolívar desde el año 2006 de manera ininterrumpida.

Para el año 2014 el evento seleccionado resultó ser Baja SAE Illinois, celebrado entre el 4 y el 7 de junio, en el cual se inscribieron 122 equipos, de los cuales participaron 97 equipos provenientes de Canadá, México, Estados Unidos y Venezuela. En esta oportunidad resultaron ganadores los equipos de Cornell University (USA) en primer lugar, Oregon State University (USA) en segundo lugar y McGill University (Canadá) en tercer lugar (BajaSAE, 2014).

A continuación se presenta una tabla con los resultados de las competencias en las que el equipo Baja SAE USB ha participado. Destaca la participación en el año 2008, en Montreal Canadá, en la que el equipo Baja SAE USB obtuvo la posición 14 de un total de 122 inscritos. Además de ello en diferentes años, (2010, 2011 y 2012), se han obtenido excelentes resultados en las pruebas de diseño, presentación de ventas e informe de costos, eventos en las cuales el equipo ha quedado en las primeras posiciones.

**Tabla 1.** Resultados obtenidos por el equipo Baja SAE USB.

Competencia	Posición Final	Prueba de resistencia	Pruebas dinámicas	Pruebas estáticas
2014 Illinois	57/122	77/122	79/122	7/122
2013 Rochester	76/105	70/105	80/105	55/105
2012 Wisconsin	42/117	67/117	37/117	3/117
2011 Illinois	38/122	61/122	40/122	1/122
2010 Western Washington	30/104	43/104	34/104	2/104
2009 Wisconsin	34/121	51/121	38/121	9/121
2008 Montreal	14/122	14/122	33/122	8/122
2007 Rochester	62 /141	74/141	77/141	15/141
2006 SAE Mini Baja Midwest	60/140	80/140		

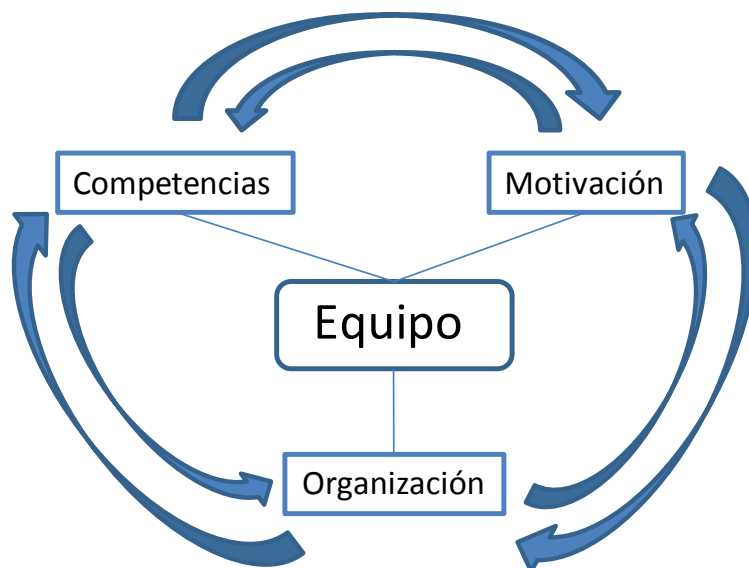
Fuente: BajaSAE, 2014.

## Baja SAE, como aprendizaje orientado por proyectos desde la perspectiva del paradigma de la complejidad

La visión desde la perspectiva sistémica proporciona la estructura del acercamiento del problema desde la complejidad, en este sentido es posible establecer los elementos o subsistemas que lo componen: el equipo, el problema, el contexto y el proceso.

En primera instancia es necesario describir cada uno de estos subsistemas para luego establecer las relaciones existentes entre cada uno de estos elementos, de las que emergen una serie de propiedades que no están presentes en el análisis individual por separado.

El subsistema “equipo” está integrado por los estudiantes que colaboran activamente en las diferentes fases del proyecto. Este subsistema tiene la capacidad de autoorganizarse es decir, los estudiantes participantes producen una estructura organizacional, (figura 2), que permite y facilita la toma de decisiones, así mismo existe en todo momento un mejoramiento continuo del conocimiento, con la correspondiente capacidad de relacionarlo con el conocimiento previo lo que lo hace significativo, ver figura 3. De esta manera se genera la resolución del proyecto en sus fases de conceptualización, detalle, construcción y pruebas. El subsistema equipo está estructurado como un sistema abierto, que consiste en un constante intercambio de información y energía con el ambiente lo que conforma una espiral de crecimiento continuo a nivel de competencias, organización y motivación.



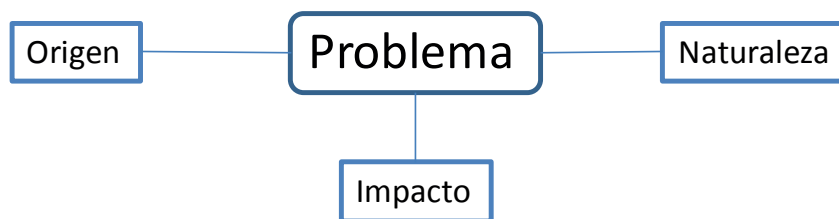
Fuente: Elaboración propia.

Figura 3. Subsistema “Equipo”, caso Baja SAE USB.

El desarrollo del prototipo está reglamentado bajo los parámetros de la competencia internacional organizada por SAE. Esta normativa contiene una serie de especificaciones técnicas que cada equipo debe seguir de manera rigurosa, dirigidas fundamentalmente a establecer los requisitos mínimos de diseño y construcción, que garanticen la seguridad integral de los estudiantes participantes durante el evento, y

orienten la competencia hacia la optimización de los factores involucrados en el diseño del prototipo, dejando siempre un espacio libre para la creatividad.

El problema del diseño se origina en los límites generales, la normativa establecida y su naturaleza es conocida en parte es decir, todos los equipos participantes deberán desarrollar sus respectivos prototipos siguiendo normativa, pero desarrollando creativamente los diferentes subsistemas (chasis, suspensión, transmisión, frenos...), que permitirán a cada prototipo optimizar las variables medidas durante la competencia. La naturaleza del problema es, en general, conocida aunque se presentan situaciones en las que es necesario encontrar y definir el problema particular. Desde el punto de vista del impacto es variado, se presentan impactos personales en los miembros del equipo, locales dentro de la propia institución e incluso nacionales, ya que el proyecto ha influido en otras instituciones universitarias en las cuales se han generado proyectos similares, ver figura 4.



*Fuente: Elaboración propia.*

**Figura 4.** Subsistema "Problema", caso Baja SAE USB.

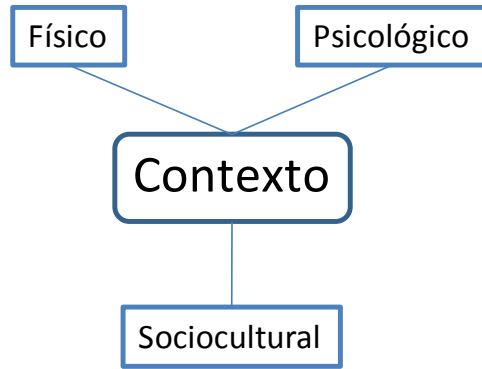
El contexto, figura 5, representa otro elemento fundamental del sistema propuesto. La fase de desarrollo del prototipo ocurre en los ambientes propios de la Universidad Simón Bolívar. Las limitaciones de espacio, de uso de los laboratorios y talleres, la disponibilidad de las herramientas de diseño y construcción, entre otros factores físicos influyen directamente en el proceso de producción de soluciones y en el equipo de trabajo.

En general el proceso de producción de soluciones es evolutivo, los aprendizajes logrados en los eventos anteriores alimentan los nuevos desarrollos.

El equipo a través del proceso impacta y modifica el ambiente tanto físico como psicológico al insistir y procurar el espacio necesario, el uso de laboratorios, talleres y herramientas computacionales, creando un ambiente psicológico colaborativo entre cada uno de sus integrantes que favorece la consecución de los objetivos planteados. A medida que el proyecto avanza en su ejecución se genera una realimentación motivacional, cada logro obtenido, por pequeño que sea, impacta de manera positiva en el equipo y cada fallo o dificultad encontrada es tomada como un nuevo reto que refuerza aún más la motivación interna necesaria para solventarla.

A medida que el proyecto avanza y se acerca la fecha de la competencia el nivel de tensión aumenta, ello refuerza la motivación interna del equipo y la propiedad sistémica de autorganización que éste tiene. Cualquier fallo o dificultad técnica, organizacional o proveniente de algún integrante que se presente es resuelta por el equipo como un todo.

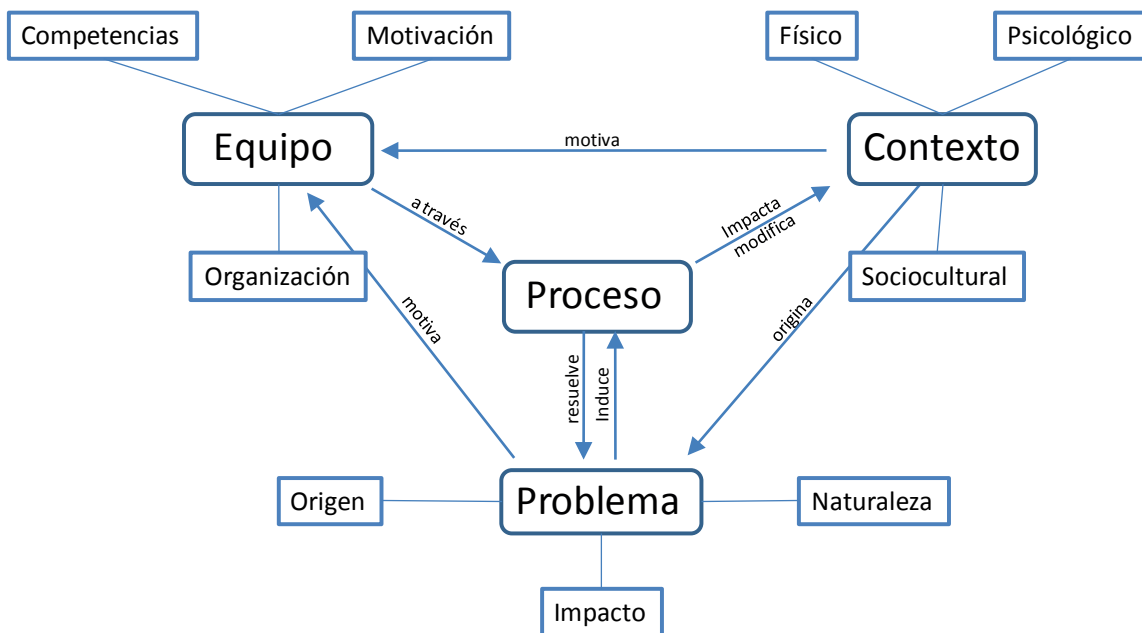
La competencia se presenta en un contexto físico y psicológico diferente, es otro país, otra cultura y otro idioma, ello induce dificultades distintas, no obstante se presenta cuando los niveles de motivación interna, los conocimientos técnicos y organizacionales se encuentran en más alto nivel. La sinergia adquirida por el equipo, según la cual “el todo es más que la suma de las partes”, permite afrontar con éxito cualquier dificultad.



Fuente: Elaboración propia.

Figura 5. Subsistema “contexto”, caso Baja SAE USB.

La figura 6 presenta un mapa o red de relaciones entre cada uno de estos subsistemas, de esta manera cada uno de ellos influye y es influenciado por los otros creando un sistema complejo en el cual opera los mecanismos de construcción de aprendizajes en este caso en particular.



Fuente: Elaboración propia.

Figura 6. Aprendizaje orientado por proyectos, desde la perspectiva del paradigma de la complejidad, caso Baja SAE USB.

El proceso de producción de soluciones y el problema como elementos del sistema, se encuentran íntimamente relacionados (fig. 6). Toda propuesta de solución es revisada y cotejada con las especificaciones impuestas por la normativa que rige la

competencia y si la respuesta es satisfactoria continúa su desarrollo e implementación. De igual forma, cada diseño propuesto e implementado aumenta el nivel de conocimiento y de capacidad de relacionarlo que tiene el equipo. De esta manera se crean los lazos de interacción entre cada uno de los elementos que conforman el sistema.

## Comentarios y conclusiones

En la actualidad y gracias a las tecnologías comunicacionales disponemos fácilmente de cualquier información que se busque, pero la información no sirve de mucho si no es convertida en conocimientos, más aún en conocimientos significativos es decir, que los nuevos conocimientos estén vinculados generando de esta manera redes de relaciones que permitan la resolución de problemas y la creación de nuevos productos y/o artefactos, vale decir innovaciones, cuyo fin último es la mejora de la calidad de vida y el bienestar colectivo.

El elemento clave que permite el desarrollo satisfactorio del proyecto académico Baja SAE USB es la motivación. Por su propia iniciativa, los estudiantes participantes se organizan en un equipo integrado, tal como se expresó anteriormente, por divisiones técnicas y administrativas de la misma manera como se estructura una organización empresarial. Esta estructura organizativa interactúa interna y externamente. El ambiente o contexto en el cual se desarrolla el proyecto en sus diferentes fases influye y es influido a su vez por el equipo en busca de las diferentes propuestas de solución del proyecto. El problema, estructurado de manera general, es provisto según las reglamentaciones de la competencia dejando un margen amplio para que el equipo desarrolle sus ideas creativas. Se genera de esta forma, un diálogo entre cada uno de los elementos que integran el sistema descrito en una estructura de relaciones interdependientes.

La naturaleza del proyecto resulta altamente motivadora para los alumnos participantes. El hecho de diseñar, calcular, construir y probar un vehículo, les permite integrar diversos conocimientos adquiridos en las distintas asignaturas de los planes de estudios que cursan, ello provoca un crecimiento personal y profesional en cada individuo que los prepara de mejor manera para su actividad profesional una vez que se gradúen.

Aunque no se han realizado de manera formal evaluaciones comparativas de las competencias adquiridas por los estudiantes participantes, se ha podido observar mejoras significativas. Los estudiantes participantes adquieren mayor confianza en sí mismo, mejoran sus capacidades de comunicación, mejoran en la integración los conocimientos de vistas manera separada en el aula de clases, en su habilidad espacial y fundamentalmente aprenden a trabajar en equipo.

El elemento fundamental del sistema descrito es el equipo integrado por estudiantes universitarios de distintas carreras, cada uno de estos estudiantes tienen sus propias ideas, sus motivaciones personales, sus intereses propios, confiando e integrando el carácter personal y subjetivo en el desarrollo del proyecto. La tabla n.2 a continuación resume los principios básicos del paradigma de la complejidad aplicados para este caso en particular.

**Tabla 2.** Principios del paradigma de la complejidad en el proyecto Baja SAE USB.

Principio	Baja SAE USB
Sistémico	Proporciona la estructura del sistema Baja SAE USB, el cual es parte del súper sistema SAE encargado de organizar los eventos y está integrado por los diferentes subsistemas que componen el equipo. De la interacciones entre estos subsistemas emerge la solución propuesta que es evaluada durante la competencia
Auto-eco-organización	Los estudiantes por su propia iniciativa se organizan en un equipo y como tal. emergen propiedades que les permiten solventar las dificultades que se presentan en las diferentes etapas del proceso
Dialógico	Cada una de las partes que integran el modelo modifica y a su vez son modificadas por la interacción con las demás. El subsistema equipo modifica y es modificado por el subsistema contexto, de manera similar el equipo resuelve el problema y este influye en el equipo en una red dialéctica de relaciones interdependientes.
Integración del conocedor dentro del conocimiento	Las ideas necesarias para el desarrollo del proyecto provienen de los participantes individuales operando de manera coordinada dentro del sistema equipo.

*Fuente: Elaboración propia.*

Cada uno de los elementos que conforman el sistema resulta importante, el equipo proporciona el trabajo colaborativo, el contexto origina el problema y aporta recursos, información y energía que mantiene el sistema en funcionamiento. Toda iniciativa necesita un respaldo, en el caso particular de estudio descrito en este artículo, la Universidad, la Sociedad de Ingeniería Automotriz de los Estados Unidos y la industria en general respaldan el proyecto con patrocinios, apoyos y organización. Hay que destacar la fuerte motivación interna de los estudiantes integrantes del el equipo que permite sortear cualquier dificultad, sea de tipo económica causadas durante la procura de los materiales de construcción del prototipo o durante el viaje para competir, o carencias de alguna capacidad, competencia o conocimiento específico. La motivación interna permite que cualquiera de estas dificultades sea sorteada llevando siempre el proyecto a feliz término, y con ello los aprendizajes son logrados, no solo desde el punto de vista de lo cognitivo, sino también de los procesos asociados es decir, lo metacognitivo.

Es necesario transformar nuestros sistemas educativos de manera que cada persona mantenga su sed de aprender, incluso luego de haber culminado sus estudios formales. El aprendizaje debe convertirse en una actitud ante la vida. En esta línea de pensamiento se presenta un nuevo enfoque educativo, el aprendizaje basado en proyectos, en el cual cada estudiante gestiona y construye su propio aprendizaje. El proyecto debe tener ciertas características que motiven la participación. Si resulta muy sencillo se corre el riesgo de que los participantes pierdan el interés, si por el contrario resulta muy complicado puede ser frustrante.

En este artículo se presenta esta visión bajo la perspectiva epistemológica del paradigma de la complejidad, que como se expresó anteriormente está en construcción. Este enfoque permite ver no solo los elementos que conforman el sistema, sino además el todo que conforman, las relaciones de estos elementos y el todo y entre el todo y sus elementos.



El caso de estudio expuesto permite comprender como se presenta esta red de relaciones. Es importante destacar que en este caso particular siempre fue una iniciativa de los estudiantes, que desde 2005 la Universidad Simón Bolívar apoyó desde el punto de vista académico. Hoy en día este sistema de aprendizaje se ha expandido y fortalecido con la aparición de otros proyectos enmarcados dentro de la misma filosofía educativa en la propia Universidad Simón Bolívar y en otras a nivel nacional.

## Referencias bibliográficas

- BajaSAE (2014). *BajaSAE.net*. Recuperado en Septiembre de 2014, de <http://bajasae.net/>.
- Behrens, M. A. (2007). O paradigma da complexidade na formação e no desenvolvimento profissional de professores universitarios. *Educação*(3), 439-455.
- Behrens, M. A. (2010). Formação pedagógica on-line: caminhos para a qualificação da docência universitária. *Aberto*, 23(84), 47-66.
- Boccardo, R. (1999). *Nuevos Modelos del Proceso de Enseñanza-Aprendizaje Aplicados a la Docencia en Ingeniería Mecánica*. Mecánica. Caracas: USB.
- Boccardo, R. (2010). *La Creatividad desde la perspectiva del paradigma de la complejidad, una visión sistémica de la creatividad*. Barcelona: UPC.
- Carpim, L., Behrens, M. A. y Torres, P. L. (2014). Paradigma da complexidade na prática pedagógica do professor de educação profissional no século 21. *B. Tec. Senac*, 40(1), 90-107.
- de la Torre, S. y Moraes, M. C. (2006). Investigar en creatividad bajo el pensamiento complejo, metodología de desarrollo eco-sistémico. En S. de la Torre y V. Violant, *Comprender y evaluar la creatividad* (págs. 33-71). Barcelona: Aljibe S.L.
- Delors, J. (1996). *La educación encierra un tesoro, Informe a la UNESCO de la Comisión Internacional sobre la educación para el siglo XXI*. Madrid: Santillana, Ediciones UNESCO.
- Gómez, R. y Jiménez, J. (2002). De los principios del pensamiento complejo. En M. Velilla, *Manual de iniciación pedagógica al pensamiento complejo* (págs. 116-121). Bogotá: Corporación para el Desarrollo Complexus.
- Grant, M. (2002). Getting a grip on project-based learning: theory, cases and recommendations; A Middle School. *Computer Technologies Journal*, 5(1).
- Guisasola, G. y Garmendia, M. (2014). *Repositorio Institucional de la Universidad del País Vasco*. (G. Guisasola y M. Garmendia, Editores) Recuperado en Septiembre de 2014, de Aprendizaje basado en problemas, proyectos y casos: diseño e implementación de experiencias en la universidad: <https://addi.ehu.es/bitstream/10810/12368/1/Aprendizaje%20basado%20en%20problemas%2c%20proyectos%20y%20casos%20%28libro%20SAE%29.pdf>.
- Johansen, O. (2004). *Introducción a la teoría general de sistemas*. México: Limusa S.A.
- Kuhn, T. (2000). *La Estructura de las Revoluciones Científicas*. Mexico: Fondo de Cultura Económica.
- Maldonado Pérez, M. (2008). Aprendizaje basado en proyectos colaborativos, Una experiencia en educación superior. *Laurus*, 14(28), 158-180.

- Martí, J. A., Heydrich, M., Rojas, M. y Hernández, A. (2010). Aprendizaje basado en proyectos: una experiencia de innovación docente. *Revista Universidad EAFIT*, 46(158), 11-21.
- Martínez, M. (2002). *El paradigma emergente, hacia una nueva racionalidad científica*. Mexico: Trillas.
- Moreno. (2002). Fuentes, autores y corrientes que trabajan la complejidad. En M. A. Velilla, *Manual de iniciación pedagógica al pensamiento complejo*. Bogotá: Corporación para el Desarrollo Complexus.
- Morin, E. (1984). *Ciencia con conciencia*. Barcelona: Anthropos.
- Morin, E. (2004). *La mente bien ordenada*. Barcelona: Seix Barral, S.A.
- Northwest Regional Educational Laboratory (NwREL) (2006). *Eduteca*. Recuperado el Septiembre de 2014, de <http://www.eduteka.org/AprendizajePorProyectos.php>.
- Pabón, A. (Sep de 2011). Aprendizaje universitario desde el paradigma de la complejidad. (ULA, Ed.) *Educere, Investigación Aplicada*(52), 673-681.
- Pérez, R. A. (1999). *Khun y el cambio científico*. Mexico: Fondo de Cultura Económica.
- SAE. (2014). *SAE International*. Recuperado el Septiembre de 2014, de <http://students.sae.org/cds/bajasae/>.
- Sató, J. y Catalán, M. (2013). *We're always in the KnowGarden*. Recuperado el Septiembre de 2014, de <http://knowgarden.net/2013/07/09/problem-based-learning-y-project-based-learning/>.

Artículo concluido el 25 de Marzo de 2015

Boccardo Irigoyen, R. (2015). Baja SAE USB como caso de aprendizaje orientado por proyectos desde la perspectiva del paradigma de la complejidad. *REDU - Revista de Docencia Universitaria*, 13(3), 289-307.

publicado en <http://www.red-u.net>

---

## **Renzo Boccardo Irigoyen**

**Universidad Simón Bolívar (Venezuela)**

*Departamento de Mecánica*

rboccard@usb.ve



Doctor en Proyectos Innovación Tecnológica 2011 (UPC, España), MSc. en Ing. Mecánica 1994 (USB, Venezuela); Ing. Mecánico 1989 (USB, Venezuela); Profesor Titular del Dpto. Mecánica y actual Jefe del Instituto de Desarrollo Tecnológico e Innovación de la Universidad Simón Bolívar en Caracas, Venezuela. Docente en el área de Diseño Mecánico y en Teoría de la Invención en Ingeniería Mecánica y en la Maestría en Ingeniería Mecánica de la USB. Sus temas de investigación son la creatividad y el diseño en la ingeniería.