

# PROYECTO APROBADO PARA EL CEMIE-EÓLICO

## PROYECTO NÚMERO 12

### 1. Título

Desarrollo de tecnología basada en inteligencia artificial y mecatrónica, para integrar un parque de generación de energía eólica a una red inteligente.

### 2. Tipo de proyecto

Investigación aplicada.

### 3. Instituciones y empresas participantes

<b>Instituto Nacional de Astrofísica, Óptica y Electrónica (INAOE)</b>
Número de RENIECYT: 2012/025
Dirección: Dirección legal: Calle Enrique Erro No. 1, Santa María. C.P. 72840 Santa María Tonantzintla, Puebla.
<b>Instituto de Investigaciones Eléctricas (IIE)</b>
Número de RENIECYT: 2012/003
Dirección: Reforma 113, Col. Palmira. C.P. 62490 Cuernavaca, Morelos

### 4. Líder técnico

Luis Enrique Sucar Succar	CVU: 2629	Grado máximo: Doctor Miembro del S.N.I. =SI-N3
Instituto Nacional de Astrofísica, Óptica y Electrónica (INAOE)		
<b>Perfil.-</b> Es miembro del Sistema Nacional de Investigadores. Es Investigador Nacional Nivel III. Es Director de Investigación del INAOE.		
Estudios: Instituto De Estudios Superiores De Monterrey (ITESM)		

### 5. Líder administrativo

Lic. Oscar Flores Jiménez

### 6. Principales participantes del equipo de trabajo

Luis Enrique Sucar Succar	CVU: 2629	Grado máximo: Doctor Miembro del S.N.I. =SI-N3
Instituto Nacional de Astrofísica, Óptica y Electrónica (INAOE)		
<b>Perfil.-</b> Es miembro del Sistema Nacional de Investigadores. Es Investigador Nacional Nivel III. Es Director de Investigación del INAOE.		
Estudios: Instituto De Estudios Superiores De Monterrey (ITESM)		

## PROYECTO APROBADO PARA EL CEMIE-EÓLICO

Eduardo F. Morales Manzanares	CVU: 01790	Grado máximo: Doctor
		Miembro del S.N.I. = SI-N2
Instituto Nacional de Astrofísica, Óptica y Electrónica (INAOE)		
<b>Perfil.-</b> Es miembro del S.N.I., actualmente es Investigador Nacional Nivel II. Desde abril de 2011 es Coordinador de Ciencias Computacionales del INAOE. Fue Representante de la Red Temática en Tecnologías de la Información (RedTIC) CONACYT.		
Estudios: UAM, The Turing Institute UK		
Enrique Muñoz de Cote	CVU: 200332	Grado máximo: Doctor
		Miembro del S.N.I. = SI-N0
Instituto Nacional de Astrofísica, Óptica y Electrónica (INAOE)		
<b>Perfil.-</b> Ha participado en proyectos financiados por fondos sectoriales (SEP-CONACYT, FSE-CONACYT-SENER).		
Estudios: UAM, Politécnico Di Milano, IT		
Pablo Héctor Ibargüengoytia González	CVU: 120007	Grado máximo: Doctor
		Miembro del S.N.I. = SI-N1
Instituto de Investigaciones Eléctricas (IIE)		
<b>Perfil.-</b> Tiene más de 25 años de experiencia en el IIE. Ha dirigido proyectos de aplicaciones de inteligencia artificial en campos como industrial, diagnóstico y protecciones. Ha sido profesor de cátedra durante 15 años en el ITESM campus Cuernavaca.		
Estudios: UAM, U-Minnesota, U-Salford UK.		
Alberto Reyes Ballesteros	CVU: 67520	Grado máximo: Doctor
		Miembro del S.N.I. = SI-N1
Instituto de Investigaciones Eléctricas (IIE)		
<b>Perfil.-</b> Es miembro del S.N.I., es Investigador Nacional nivel 1. Tiene más de 20 años de experiencia en el IIE. Ha dirigido proyectos de aplicación de métodos de inteligencia artificial. Actualmente dirige uno para predicción de la generación eólica.		
Estudios: UV, ITESM-Cuernavaca.		

### 7. Antecedentes, estado del arte y justificación

Los sistemas eléctricos de potencia son sistemas formados por centrales generadoras de energía que se interconectan a la red de transmisión para luego repartir la energía a las redes de distribución que la entregan a los usuarios finales. Son sistemas muy complejos expuestos a condiciones meteorológicas severas y a restricciones de operación estrictas. Además, las diferentes sociedades del mundo han incrementado su conciencia acerca de los efectos ambientales de los sistemas eléctricos, obligándolos a sufrir grandes transformaciones en su forma de operar. Esta concientización social ha obligado a la creación de nuevas condiciones de operación de los sistemas de potencia. Una de esas nuevas condiciones de operación es la utilización, cada vez más frecuente, de fuentes alternas de energía como la eólica o la solar.

La incorporación de generación eléctrica utilizando fuentes alternativas como la eólica, implica nuevos retos para los sistemas eléctricos, en particular desde el punto de vista de la información necesaria para poder tomar las mejor decisiones, en el contexto de las redes “inteligentes” (*Smart Grids*). Ejemplos de estos retos son el poder pronosticar adecuadamente la producción eléctrica

## PROYECTO APROBADO PARA EL CEMIE-EÓLICO

---

de las centrales eólicas, que dependen de factores inciertos como el viento; así de cómo poder hacer uso de esta información incierta para sacarle el máximo provecho al parque. Para enfrentar estos retos, una tendencia mundial muy clara es la utilización de sistemas inteligentes y mecatrónicos. Diferentes técnicas de inteligencia artificial han sido aplicadas a diversos problemas. De la misma manera, la robótica y en general la mecatrónica han aportado soluciones innovadoras.

La revista IEEE Intelligent Systems, dedicó una edición especial al uso de Inteligencia Artificial (IA) en los sistemas de potencia y los mercados de energía [1]. Se aprecia una tendencia mundial a la aplicación de IA en la solución de problemas complejos de las aplicaciones reales actuales. Se discute en este número, las diferentes tecnologías disponibles de la IA y la Mecatrónica y los tipos de problemas que se pueden resolver con esas tecnologías. Cómo técnicas específicas de la IA se tienen: sistemas basados en conocimiento en forma de reglas; técnicas de razonamiento probabilista, lógica difusa y redes neuronales para formar técnicas neurodifusas; diferentes algoritmos de búsqueda, satisfacción de restricciones y optimización; algoritmos genéticos y otras técnicas evolutivas; teoría de juegos y teoría de decisiones; reconocimiento de patrones. Como otras áreas importantes de IA se tiene el enfoque de agentes inteligentes y los sistemas multi-agentes, que permiten la combinación y cooperación de diferentes agentes, donde cada agente puede utilizar diferentes paradigmas que se combinan para resolver problemas complejos. Finalmente, las técnicas de aprendizaje automático que han permitido la adquisición de conocimiento en las diferentes formas que éste se puede representar.

Con lo que respecta a la mecatrónica, existen diversas clasificaciones de los sistemas mecatrónicos, entre los que se encuentran los sistemas micro electromecánicos (MEMS), los sistemas nano electromecánicos (NEMS), y los sistemas convencionales. Un MEM es un sistema miniaturizado que integra funciones sensoras, de proceso y/o actuación en un solo chip o en un módulo híbrido multi-chip. En un NEM, la conversión del movimiento de una estructura nano-mecánica en una señal eléctrica aprovecha las propiedades nano-mecánicas de la estructura para el desarrollo de una determinada funcionalidad como, por ejemplo, la medida de magnitudes físicas, la detección de partículas o el procesamiento de señales. Los sistemas mecatrónicos convencionales retienen la funcionalidad o el sistema mecánico tradicional, pero los mecanismos internos son remplazados por electrónica. Un ejemplo es el reloj digital. Entre sus aplicaciones más importantes se encuentran la robótica (robots industriales, micro robótica, robots móviles), la Tele-operación (tele-robótica, sistemas semiautónoma de tele operación), y la optimización del diseño.

Mediante la utilización de técnicas de inteligencia artificial en los sistemas de potencia y los mercados de energía, se han resuelto diferentes problemas específicos. Como algunos ejemplos se pueden mencionar los siguientes: diagnóstico de sistemas, monitoreo de equipos, centrales o de redes, planificación de la expansión de redes, planificación del despacho de energía, optimización y reconfiguración de redes y pronóstico. Desde el área de mecatrónica, se han desarrollado sistemas para la inspección de líneas de transmisión [2] y de subestaciones eléctricas [3], y se han logrado avances en la inspección de aerogeneradores [4].

## PROYECTO APROBADO PARA EL CEMIE-EÓLICO

---

El equipo de trabajo de sistemas inteligentes del INAOE y del IIE ha trabajado en el desarrollo de herramientas de aprendizaje automático y de razonamiento probabilista dinámico que puede ser utilizado para resolver problemas de diagnóstico o pronóstico de variables en el sector eléctrico. Se han desarrollado proyectos como el desarrollo de modelos gráficos probabilistas dinámicos en el marco de un proyecto FONCICYT [5]. Se desarrollaron sistemas de asistencia al operador de una central generadora [6] que incluye un sistema de diagnóstico inteligente en línea basado en los patrones de comportamiento del sistema bajo diferentes condiciones de operación [7]. Así mismo, se han desarrollado herramientas para el aprendizaje de modelos gráficos probabilistas dinámicos para el pronóstico de variables representadas como series de tiempo. Se utilizará este sistema para la predicción de viento en parques eólicos. Finalmente, este grupo de trabajo está desarrollando sistemas multi-agentes y otros sistemas de inteligencia artificial distribuida que se pueden utilizar en el manejo de mercados de energía donde los pequeños productores puedan participar en ese complejo problema de compra-venta de energía.

Uno de los grandes retos para la generación de energía eólica son los altos costos de inversión en infraestructura. La tendencia mundial para enfrentar este problema es optar por esquemas de generación descentralizada, donde se invita a inversionistas privados a aportar capital humano y financiero para la creación de parques eólicos. Como resultado de esta descentralización se vuelve imperativo estudiar las consecuencias que esta descentralización conlleva al integrar un parque eólico a la red eléctrica [8]. De igual manera, existen varias interrogantes al interior de un parque eólico que requieren ser estudiadas desde un punto de vista distribuido, ya que el mismo parque mantiene interacciones con otros elementos como otro tipo de generadores, centros de almacenamiento, servicios meteorológicos, entre otros. Se propone estudiar este problema utilizando técnicas de inteligencia artificial distribuida (IAD) [9] y sistemas multi-agente (SMAs), las cuales nos permitirán desarrollar soluciones escalables y de fácil administración [10].

Por otro lado, se tienen prototipos de sistemas inteligentes para asistir al operador de centrales generadoras convencionales. Los sistemas inteligentes incluyen monitoreo del estado del proceso y diagnóstico en línea que permite la generación de recomendaciones al operador. Estas y otras recomendaciones, se pueden extender para la creación de un sistema tutor inteligente que apoye a la capacitación de operadores. Estas experiencias de sistemas inteligentes se diseñarán para la operación de parques eólicos o sistemas híbridos con múltiples formas de generación eléctrica.

### REFERENCIAS

1. Carlos Ramos and Cheng-Ching Liu, AI in Power Systems and Energy Markets, IEEE Intelligent Systems, Vol. 26, Num. 2, March/April 2011.
2. Toth, J. ; Pouliot, N. ; Montambault, S.; Field experiences using LineScout Technology on large BC transmission crossings; Proc of the 1st International Conference on Applied Robotics for the Power Industry (CARPI-2010), Montreal, 2010.
3. Rui Guo, Lei Han, Yong Sun, Mingrui Wang, A Mobile Robot for Inspection of Substation Equipments, Proc of the 1st International Conference on Applied Robotics for the Power Industry (CARPI-2010), Montreal, 2010.

## PROYECTO APROBADO PARA EL CEMIE-EÓLICO

---

4. Tariq P. Sattar, Hernando Leon Rodriguez, Bryan Bridge, (2009) "Climbing ring robot for inspection of offshore wind turbines", *Industrial Robot: An International Journal*, Vol. 36 Iss: 4, pp.326 – 330.
5. Dynamic probabilistic graphical models; FONCICYT Project No: 95185; <http://www.dynamopro.org/>.
6. A. Reyes, P. Ibarguengoytia, F. Elizalde, L. Sánchez, and A. Nava; ASISTO: An intelligent assistant system for power plant operation and training; ISAP 2011, Crete Island, Greece, September, 2011.
7. Pablo H. Ibarguengoytia and A. Reyes; On-line diagnosis of a power generation process using probabilistic models; ISAP 2011, Crete Island, Greece, September, 2011.
8. Power TAC: A competitive economic simulation of the smart grid, Wolfgang Ketter, John Collins and Prashant Reddy, *Energy Economics*, 2013, (<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0140988313000959>)
9. Automated Planning in Repeated Adversarial Games, Enrique Munoz de Cote, Archie Chapman, Adam M. Sykulski, Nicholas R. Jennings, In *Proceedings of the Twenty-Sixth Conference on Uncertainty in Artificial Intelligence (UAI-10)*, AUA Press, 2010.
10. Strategic interactions among agents with bounded rationality, P. Hernandez-Leal, Enrique Munoz de Cote, Enrique Sucar, In *23rd. International Joint Conference on Artificial Intelligence (IJCAI)*, 2013.

### 8.- Objetivos y metas

El objetivo del proyecto es desarrollo de tecnología basada en inteligencia artificial y mecatrónica (IA&M) para integrar un parque de generación de energía eólica a una red inteligente (*smart grid*). Para lograr este objetivo, se propone desarrollar tres paquetes tecnológicos, los cuales de forma coordinada sean capaces de cumplir los siguientes tres objetivos generales:

1. Investigación, diseño, implementación y pruebas de un sistema inteligente que facilite la integración de un grupo de aerogeneradores o con otras unidades de la red eléctrica (otras fuentes de generación, unidades de almacenamiento, consumidores, etc). En específico, se utilizará este sistema para atacar el problema de decidir la cantidad de energía de las diferentes fuentes que se inyecten a la red: de las máquinas eólicas, de las baterías o de alguna combinación de estas. Se piensa incluir modelos para predicción de la producción de energía a corto y mediano plazo, así como el desarrollo de agentes inteligentes que optimicen las estrategias de generación de energía en el parque eólico.
2. Investigación, diseño, implementación y pruebas de un sistema inteligente que facilite la regulación de la energía generada en un parque eólico para ser integrada a la red eléctrica.
3. Diseño, instalación y pruebas de un sistema inteligente de asistencia al operador de un parque de generación eólica. El asistente incluye monitoreo del estado del parque y un sistema de diagnóstico en línea de las turbinas, los generadores y de la transmisión de

## PROYECTO APROBADO PARA EL CEMIE-EÓLICO

---

energía de cada torre. Con este diagnóstico se generan recomendaciones de acciones al operador del parque.

4. Estudio de factibilidad de la utilización de técnicas de mecatrónica en la solución de problemas para los sistemas de potencia eólicos.

Estos objetivos generales proporcionan los siguientes objetivos específicos:

- Diseñar e implementar una herramienta de software (simulador) utilizando como paradigmas a la inteligencia artificial distribuida y sistemas multiagente.
- Superar a las técnicas clásicas utilizando técnicas de Inteligencia Artificial Distribuida (IAD) en simulaciones del CERTE y red eléctrica mexicana.
- Superar a las técnicas clásicas utilizando técnicas de IAD y SMA para la regulación (en frecuencia y amplitud) de la señal eléctrica entregada por el CERTE a la red.
- Optimizar la generación y regulación (en amplitud y frecuencia) de un parque eólico por medio del uso de unidades de almacenamiento (baterías) y otras fuentes de generación alternas.
- Identificación automática de los problemas que se pueden diagnosticar en las turbinas eólicas, los generadores eléctricos, los sistemas de control y los sistemas concentradores de energía eléctrica.
- Diseñar a un agente autónomo de apoyo a los operadores, el cual sea capaz de diagnosticar parques eólicos e identificar las posibles estrategias de operación de acuerdo a las condiciones de operación de los parques eólicos.
- Analizar las potenciales aplicaciones de la mecatrónica, en particular la robótica, en parques eólicos.
- Creación de rutas tecnológicas de aplicación de sistemas inteligentes, mecatrónica y robótica a los parques eólicos.
- Integración de los prototipos de sistemas inteligentes en el parque eólico CERTE del IIE

### 9.- Contenido innovador

Hasta ahora, el desarrollo y operación de las máquinas y sistemas y de la industria eoloelectrónica se ha basado principalmente en el uso de métodos tradicionales que no incorporan inteligencia artificial. En el contexto de la innovación la introducción de la inteligencia artificial, en todas sus formas y aplicaciones, representa una gran oportunidad.

# PROYECTO APROBADO PARA EL CEMIE-EÓLICO

---

## 10.- Principales resultados esperados lista de entregables

- Sistema inteligente que facilite hacer negociaciones automáticas con diferentes generadores en un parque eólico o con otras unidades de la red eléctrica (generadores, unidades de almacenamiento, consumidores, etc).
- Sistema inteligente de asistencia al operador de un parque de generación eólica. El asistente incluye monitoreo del estado del parque y un sistema de diagnóstico en línea de las turbinas, los generadores y de la transmisión de energía de cada torre. Con este diagnóstico se generan recomendaciones de acciones al operador del parque.
- Estudio de factibilidad de la utilización de técnicas de mecatrónica en la solución de problemas para los sistemas de potencia eólicos.
- La lista de entregables asociada a cada actividad y a cada etapa se muestra en el **Apéndice No. 3**

## 11.- Metodología propuesta

El proyecto está conformado por tres paquetes: mercados de energía, asistente a la operación y factibilidad de aplicaciones de **IA&M**.

Para el paquete de mercados de energía, se plantea la siguiente metodología:

- a) Desarrollar los modelos conceptuales para estudiar los principales problemas de operación de un parque eólico, en particular aquellos relacionados con la planeación de la generación y venta de energía, considerando que se cuenta con elementos de almacenamiento (baterías) y predicción de viento/energía. Para este punto se pretende utilizar como marco teórico a los sistemas multiagentes (SMAs).
- b) Definir un conjunto de casos de estudio dados los problemas identificados en el punto anterior.
- c) Modelar a los elementos integrantes de cada caso de estudio.
- d) Establecer objetivos para cada caso.
- e) Implementar un simulador para estudiar a los diferentes casos.
- f) Desarrollar los algoritmos de inteligencia artificial distribuida para satisfacer los objetivos.
- g) Obtener resultados que justifiquen la implementación de algoritmos SMA y IAD en casos reales de parques eólicos.
- h) Definir un caso de estudio físico (in-situ) en el CERTE.
- i) Implementar caso de estudio en el CERTE.

## PROYECTO APROBADO PARA EL CEMIE-EÓLICO

---

Para el paquete del asistente en la operación del parque, se plantea la siguiente metodología:

- a) Identificar las variables medibles que están disponibles en cada turbina eólica y en los sistemas de concentración de la energía.
- b) Adquirir datos históricos de las variables identificadas, incluyendo las acciones de control ejecutadas. Instalar un sistema de adquisición de datos en línea en una turbina.
- c) Limpiar, completar y pre-procesar el conjunto de datos históricos adquiridos.
- d) Construir modelos probabilistas que representen los perfiles de comportamiento de las turbinas de generación eólica.
- e) Construir modelos probabilistas que representen los perfiles de comportamiento del parque eólico.
- f) Diseñar un sistema de diagnóstico en línea que sea capaz de identificar desviaciones al comportamiento normal de una turbina.
- g) Diseñar un sistema de diagnóstico en línea que sea capaz de identificar desviaciones al comportamiento normal del parque eólico.
- h) Diseñar un sistema para la toma de decisiones de control de acuerdo a las condiciones monitoreadas en el parque eólico.
- i) Validación de modelos y del sistema de diagnóstico inteligente.
- j) Construir una base de recomendaciones que se puedan ofrecer al operador del parque eólico de acuerdo a las condiciones de las torres y del parque en su conjunto.
- k) Instalación del sistema de diagnóstico inteligente en una turbina del CERTE.
- l) Pruebas en sitio del sistema de diagnóstico inteligente en una turbina del CERTE.
- m) Documentación del comportamiento del sistema inteligente de diagnóstico durante la operación normal del parque eólico.

Para el paquete del estudio de factibilidad de aplicaciones de técnicas de IA y mecatrónica, se plantea la siguiente metodología:

- a) Identificación de problemas potenciales y técnicas que son candidatos a resolverse con mecatrónica (IA&M).
- b) Realizar una planeación estratégica y ruta tecnológica de las oportunidades más importantes de innovación de sistemas mecatrónicos para problemas eólicos.
- c) Redacción de una propuesta detallada de proyectos de investigación aplicada para utilizar mecatrónica en problemas de energía eólica.



## PROYECTO APROBADO PARA EL CEMIE-EÓLICO

---

### 12.- Cronograma de actividades

El cronograma de actividades se incluye en el **Apéndice No. 1**

### 13.- Desglose financiero

El desglose financiero se incluye en el **Apéndice No. 2**

### 14.- Justificación del gasto

<b>Rubro 9.1</b>
Salarios de investigadores del IIE y salarios de personal técnico contratado para apoyo en los desarrollos de software de los proyectos. Ayuda a estudiantes de licenciatura y posgrado.
<b>Rubro 9.2</b>
<b>Pasajes y viáticos.-</b> Reuniones con el grupo de trabajo, participación o asistencia a conferencias nacionales o internacionales, inscripciones a congresos o eventos, participación o asistencia a congresos nacionales o internacionales, presentaciones del trabajo en conferencias, congresos o eventos, nacionales o internacionales, reuniones con miembros del CEMIE-Eólico, reuniones y presentaciones con el Responsable Técnico del CEMIE-Eólico y con el Grupo Directivo, asistencia a talleres de planeación y eventos de ruta crítica, reuniones con colaboradores del proyecto de instituciones o empresas no miembros del CEMIE-Eólico, nacionales o extranjeros. En particular se contempla la asistencia a conferencias top en inteligencia artificial como IJCAI, AAAI, AAMAS, NIPS, UAI, MICAI e Iberamia, así como congresos especializados en energía como ISAP.
<b>Rubro 9.3</b>
<b>Gastos de operación.-</b> Adquisición de material bibliográfico, instrumental de laboratorio y herramientas de prueba y consumibles en general.
<b>Rubro 9.4</b>
<b>Maquinaria y equipo.-</b> Adquisición de equipo de cómputo y software para el desarrollo del proyecto, incluyendo: equipo para la adquisición de datos en el parque eólico, equipo de cómputo portátil para la adquisición de información, equipo de cómputo de alto rendimiento para el desarrollo de los simuladores, servidor para el almacenamiento y procesamiento de datos, software para modelado y simulación.
<b>Rubro 9.5</b>
<b>Servicios externos nacionales o extranjeros.-</b> Contratación de asesores nacionales e internacionales expertos en operación de parques eólicos y redes inteligentes (Smart Grids).
<b>Rubro 9.6</b>
<b>Gastos relacionados a la protección de la propiedad intelectual.-</b> Gastos de solicitud y registro de patentes y otras formas de propiedad intelectual.
<b>Rubro 9.7</b>
<b>Informe de gastos auditados.-</b> Gastos de auditoría de los reportes financieros periódicos del proyecto.

## PROYECTO APROBADO PARA EL CEMIE-EÓLICO

---

### 15.- Impactos, oportunidades, caso, plan o modelo de negocios y/o mecanismos de transferencia.

La generación de energía dependerá en el futuro en gran medida de las fuentes de energía limpias como la eólica, motivada, por un lado, por el decrecimiento de la producción petrolera; y por otro, por la necesidad de reducir los efectos de la contaminación de las plantas convencionales. Una de las fuentes con mayor potencial son los generadores eólicos integrados en parques eólicos.

Uno de los grandes retos para el desarrollo de más parques eólicos y su incorporación a la red eléctrica es su operación en forma óptima, considerando la incertidumbre en cuanto a generación eléctrica por el factor variable del viento. En este proyecto se plantea el desarrollar sistema en forma de agentes inteligentes que faciliten la operación óptima de un parque eólico, así como su inserción en los mercados de energía a través de redes eléctricas “inteligentes” (Smart Grids).

El proyecto desarrollará tecnología de frontera basada en técnicas de inteligencia artificial para la operación óptima de los parques eólicos. Esto, por un lado, permitirá la operación más eficiente de los parques existentes; y por otro lado, hará más atractiva la construcción de nuevos parques. Un aumento aunque sea en un pequeño porcentaje de la eficiencia del parque, tiene un importante efecto económico en su rentabilidad y en hacer esta fuente de energía más atractiva en el futuro.

Los sistemas de agentes inteligentes desarrollados incorporarán nuevos aspectos como la incorporación de baterías en el parque, así como el planear en forma óptima la generación y venta de energía a la red considerando la incertidumbre en los sistemas de predicción de viento. Estos sistemas darán una ventaja competitiva a los parques eólicos que los utilicen, y potencialmente podrán ser transferidos a otros parques eólicos en el mundo.

Propiedad intelectual y transferencia de tecnología del proyecto se plantea lo siguiente:

- Proteger a través de diversos esquemas de propiedad intelectual –Patentes, Derechos de Autor, etc., los desarrollos del proyecto que se les vea potencial comercial. Esto puede incluir los sistemas para predicción de energía para parques eólicos, los agentes para apoyo a operadores, etc.
- Buscar la asociación con empresas que les interese explotar/comercializar los desarrollos del proyecto, de forma que se pudiera hacer una transferencia tecnológica de los productos desarrollados.
- También se considera buscar vincularse con empresas que operan parques eólicos tanto en México como en otros países, principalmente en Latinoamérica, de forma que se pueden evaluar in situ las técnicas desarrolladas. Para esto ya se tienen contactos con la Comisión Federal de Electricidad en México, y con empresas eólicas en Ecuador.