

Aprendizaje Basado en Proyectos: Adquisición de Datos Climatológicos y de Contaminantes Atmosféricos Mediante una Red de Micro-Estaciones Móviles

SALAS, Alfredo Cristóbal, GONZÁLEZ-ROCHA, Sergio Natan, LEYVA-SANTES, Neiel Israel

A. Salas´, S. Gonzáles´´, N. Leyva´

Universidad Veracruzana´, Centro de Supercomputación de Barcelona´´.
acristobal@uv.mx

González - Hernández, María de los Ángeles, Domínguez - Basurto, Maribel, García-Durán, Atanasio. (eds.) *Educación Ambiental desde la Innovación, la Transdisciplinariedad e Interculturalidad*, Tópicos Selectos de Educación Ambiental-©ECORFAN-Veracruz, 2015.

Resumen

En este artículo se presenta la experiencia de 7 meses de trabajo multidisciplinario en el área de adquisición de variables climatológicas y de contaminantes atmosféricos. En el equipo de trabajo participaron 15 estudiantes de licenciatura de los programas educativos: ingeniería en tecnologías computacionales, ingeniería ambiental e ingeniería en electrónica y comunicaciones. Este proyecto se basó en el desarrollo un prototipo de red de micro-estaciones para la adquisición de datos climáticos y de contaminantes atmosféricos en la ciudad de Poza Rica, Veracruz. El trabajo forma parte de la red de observación de índices de calidad del aire en la ciudad de Poza Rica, donde surge la necesidad de monitorear gases contaminantes y los efectos en la salud de los habitantes del municipio y zona metropolitana.

Conciliando las restricciones de tiempo, experiencia del equipo de desarrollo y presupuesto asignado al proyecto se consideró que el prototipo debería tener las siguientes características: (1) Ser automatizado y con poca participación humana para la configuración y mantenimiento de cada micro-estación, (2) La red de monitoreo debe adquirir datos en una tasa de muestreo de ‘una toma por segundo’ para facilitar el análisis de movimiento de gases en la región observada. En cada toma de datos se deben considerar los siguientes contaminantes: Ozono, Monóxido de Carbono, Dióxido de Carbono, Dióxido de Azufre, Óxido de Nitrógeno, Dióxido de Nitrógeno (3) Además, el sistema debe ofrecer, a la población, el servicio de alertamiento por altos niveles de contaminantes que afectan la salud. (4) Así mismo, el sistema debe ser tolerante a fallas eléctricas, fallos de sincronización y fallos de transmisión de datos. (5) La red de monitoreo debe ser implementada sobre la red de datos de la Universidad Veracruzana y las micro-estaciones deben estar montadas en los edificios de la institución. Este proyecto se implementó utilizando Arduino YUN y sensores electroquímicos de bajo costo; los datos adquiridos se administran mediante una red de bases de datos basadas en MySQL versión 5.5.38, y los alertamientos se hacen a través de correo electrónico y Twitter.

Con respecto al aprendizaje transdisciplinar del equipo de trabajo, al inicio los estudiantes contaban con conocimientos aislados y acorde a su perfil disciplinar. Sin embargo, al finalizar esta etapa de trabajo conjunto, todos los estudiantes participantes contaron con el conocimiento básico de las disciplinas involucradas en el proyecto; esto fortaleció el pensamiento complejo de todos los integrantes del equipo de trabajo. Además, los estudiantes concordaron, que su participación en este proyecto multidisciplinar les permitió integrar su conocimiento y aplicarlo en la resolución de una problemática real logrando con esto el objetivo inicial del proyecto.

Aprendizaje-transdisciplinar, Alertamiento, Calidad-del-aire, Monitoreo, Sensores

Introducción

El aprendizaje basado en proyectos PBL está basado en la estrategia didáctica de aprendizaje basado en problemas y se refiere a una metodología didáctica centrada en el estudiante donde los estudiantes son retados a aprender sobre un tema específico a través de resolver un problema de la vida real controlable (PBL Barrows, 1996; Buck Institute for Education, 2009; Gasser, 2011; Neville, 2009).

Esta estrategia desarrolla las competencias de resolución general de problemas y asienta las bases del conocimiento disciplinario. También, permite a los estudiantes tener un rol activo (como solucionadores de problemáticas) donde ellos pueden consolidar las competencias académicas. Los problemas a resolver con esta estrategia didáctica están, por lo general, débilmente definidos como los problemas que los estudiantes enfrentarán en la vida real.

De acuerdo a Barrows (1996), la correcta aplicación de esta estrategia radica en las siguientes características: (1) El proyecto debe estar centrado solo en el estudiante, (2) el equipo de trabajo que resolverá el problema debe ser pequeño 6-10 personas. (3) Los profesores deben cambiar su rol para convertirse en tutores de los estudiantes más que en capacitadores o instructores. (4) El problema a resolver debe ser un medio para desarrollar las habilidades de los estudiantes estimulando un proceso cognitivo.

En Buck Institute for Education (2013), se presentan algunas de las características que deben tener los proyectos para la aplicación eficiente del PBL: (a) deben de enseñar a los estudiantes contenido significativo y que el estudiante considere importante. (b) debe requerir pensamiento crítico, de resolución de problemas, colaboración y debe involucrar varias formas de comunicación. (c) debe requerir la creación de algo nuevo o novedoso. (d) debe estar organizado en forma de una pregunta abierta. (e) crean la necesidad de especializarse en una competencia académica específica que el proyecto requiere.

PBL puede llegar a ser cautivador y motivante debido a que intenta resolver problemáticas que los estudiantes pueden llegar a considerar como prioritarias y que un ingeniero debe saber resolver. Esto es, el problema a resolver debe provocar en los estudiantes adquirir la habilidad de toma de decisiones, construcción de soluciones a un problema real que afecta a un sector de la población, y sobre todo desarrollar la capacidad de resolver problemas (Purser, 2013).

La estrategia PBL fue aplicada a estudiantes de las licenciaturas: Ingeniería en tecnologías computacionales, ingeniería ambiental e ingeniería en electrónica y comunicaciones. En las secciones siguientes se presenta la decisión de selección de la problemática, el diseño de la solución, la implementación de la misma, algunos resultados y las conclusiones del proyecto.

Selección de la problemática

De acuerdo a lo presentado en ‘e-Consulta.com’ (2014) el profesor de la Universidad Veracruzana, Antonio Luna Díaz Peón, quien es integrante del Programa de Estudios de Cambio Climático mencionó que “La contaminación que le hacemos al aire en Veracruz es muy grande, es incluso, más grande que la contaminación que le hace el Distrito Federal a su parcela de aire”.

Esto debido a la existencia de una fuerte industria petroquímica que genera altos contaminantes atmosféricos, y a la fuerte producción ganadera principal generadora de gas metano que contamina el aire. Además mencionó, que el mayor problema de contaminación del aire en el estado se concentra en tres puntos: Poza Rica, Coatzacoalcos, y la zona conurbada Veracruz- Boca del Río. En este mismo sentido, la directora general de Gestión de Calidad del Aire de la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT) reconoció que Veracruz cuenta con 8 de las 67 cuencas atmosféricas que deben ser monitoreadas por su gran actividad petroquímica y agropecuaria, que conllevan a grandes emisiones de contaminantes. También, destacó que entre las ocho cuencas se encuentran Veracruz, Coatzacoalcos, una cuenca compartida en Ciudad Madero-Tampico, Orizaba, Xalapa y Córdoba (Veracruzanos.info, 2014). Adicionalmente, en ‘Imagen del Golfo’ (2013) se menciona que en 2012 se emitieron al aire 259 millones de toneladas de emisiones contaminantes en todo el país resultando mayormente perjudicados los estados de Nuevo León, Veracruz, Hidalgo y San Luis Potosí.

Por otro lado, durante la comparecencia ante el Congreso del estado de Veracruz del Lic. Víctor Alvarado Martínez, Secretario de Medio Ambiente, señaló que anualmente se registran unas mil 400 muertes por temas relacionados con la mala calidad del aire que existe en Veracruz (ElProvincial.MX, 2014). En otro evento, el secretario indicó que la presencia de partículas y contaminantes del aire deriva del crecimiento poblacional, el incremento de vehículos automotores y el aumento de emisiones de fuentes fijas como pueden ser restaurantes y tortillerías o ingenios y establecimientos industriales. Además, mencionó que de acuerdo con los resultados de las dos estaciones de monitoreo ubicadas en Xalapa y en Minatitlán, en la capital del estado el contaminante que más está resaltando son las partículas suspendidas menores a 2.5 micras que llegan a ser tan pequeñas que entran al tracto respiratorio, pasan los alvéolos y entran directamente en el flujo sanguíneo, lo que genera problemas y alteraciones en la capacidad respiratoria (Paredes, 2014).

Todos estos pronunciamientos nos indican de la necesidad de atender el problema de la contaminación ambiental en el estado de Veracruz. Es por ello que se seleccionó este problema para ser resuelto por PBL donde los estudiantes pudieran proponer red que permita hacer el monitoreo de la calidad del aire especialmente en la ciudad de Poza Rica de Hidalgo pero sin requerir mucha inversión. A continuación se presentan algunas redes de monitoreo de la calidad del aire ya existentes en México.

Redes de monitoreo de calidad de aire en México

En esta sección se revisan algunos proyectos de redes de monitoreo en México que permitan comprender el estado actual de esta tecnología. En México actualmente existen dos redes de monitoreo ambiental, la Red Automática de Monitoreo Atmosférico de la Zona Metropolitana del Valle de Toluca (RAMA, 2015) y el Sistema Nacional de Información de la Calidad del Aire (SINAICA, 2015). La primera surge como un programa de vigilancia atmosférica con los objetivos de (1) evaluación de la calidad del aire en una zona establecida (2) generación de indicadores de la calidad del aire (3) diseñar medidas para el control de contaminantes (4) analizar la tendencia de los contaminantes (4) brindar información en caso de situaciones de alerta, alarma y emergencia (5) desarrollar estrategias de control para prevenir problemas por contaminación. SINAICA es un programa, que reúne y difunde a través del Instituto Nacional de Ecología, los datos generados por las principales redes automáticas de monitoreo atmosférico de la República Mexicana con el objetivo de dar a conocer la situación actual e histórica de la calidad del aire de diferentes ciudades del país.

En el estado de Veracruz, la Secretaría del Medio Ambiente es la encargada del monitoreo de la calidad del aire (SEDEMA, 2015). Esta secretaría cuenta actualmente con el Sistema de Monitoreo de la Calidad del Aire de Veracruz que se conforma por dos estaciones automáticas en las ciudades de Xalapa y Minatitlán, estando las estaciones de Poza Rica e Ixtaczoquitlán en proceso de instalación. Los contaminantes monitoreados son: PM10, PM2.5, NO2, SO2, O3, CO. En 'respira México' (2014), se anunció una inversión de, al menos, 2.5 millones de pesos en la implementación de programas de mejoramiento en la calidad del aire. En el programa participan dependencias estatales y federales relacionadas con el medio ambiente, y se han incorporado al proyecto la Universidad Veracruzana y de los institutos tecnológicos como el de Minatitlán. Por otro lado, en Briseño (2015) se menciona que en los primeros días de marzo 2015 iniciará operaciones una estación fija de monitoreo de la calidad del aire en el municipio de Poza Rica la cual se une a las estaciones Veracruz e Ixtaczoquitlán, Xalapa y Minatitlán. Este proyecto se realiza en un esfuerzo coordinado entre Sedema, Universidad Veracruzana (UV) y la sociedad civil, organismos interesados en contribuir ambientalmente.

Finalmente, en junio 2015, el Gobierno de Veracruz (2015) anunció el Programa Estatal para Mejorar la Calidad del Aire (Proaire) implantado por el 'Clean Air Institute', con el cual piensa reducir los índices de contaminación en el aire. A diferencia de otras implantaciones del sistema, Veracruz tendrá un monitoreo de contaminantes a nivel estatal a lo largo de los 750 kilómetros de litoral. Este programa tiene un horizonte de 15 años, que dará continuidad a las acciones que reduzcan los niveles de contaminantes.

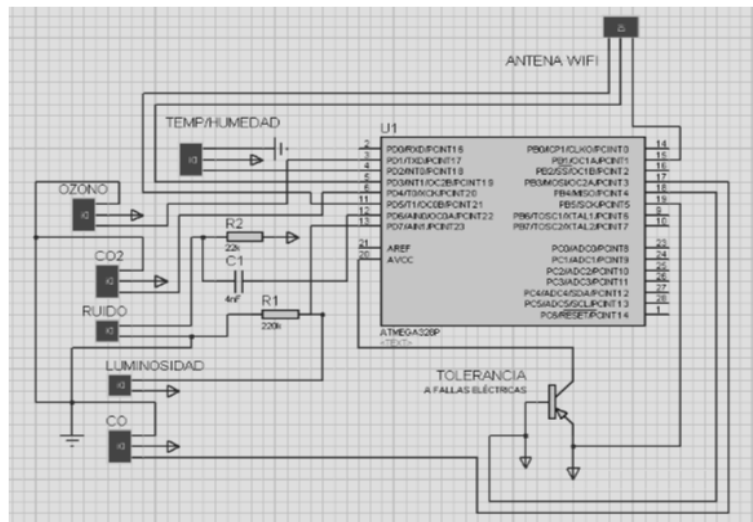
Con estos proyectos se tiene idea de generar una red de monitoreo que contemple componentes de bajo costo en su construcción como en su mantenimiento.

Diseño de la estrategia didáctica

En esta sección se presentan los detalles de la puesta en marcha de la estrategia PBL con 15 estudiantes de nivel licenciatura de las carreras de: ingeniería ambiental (IA), ingeniería en tecnologías computacionales (ITC), ingeniería en electrónica y comunicaciones (IEC). El proyecto quedó integrado con el siguiente objetivo técnico: diseñar una red de monitoreo de la calidad del aire basado en micro-estaciones donde cada una de ellas se auto-configuren, se auto-optimicen y se auto-sanen para que puedan ser utilizadas y movidas de lugar sin requerir modificaciones.

Se formaron 3 equipos de trabajo organizados por área temática quedando integrados de la siguiente manera: 2 IA, 1 IEC y 12 ITC. El equipo de IAs revisó consideraciones técnicas de las redes de monitoreo existentes en México, trabajo que se completó en un mes. El equipo de IECs terminó en seis meses presentando el circuito mostrado en la Figura 1.

Figura 1 Diseño del circuito que adquiere señales digitales y analógicas provenientes de sensores y los transmite a un servidor central



El modelo presentado contempla un prototipo de micro-estación de monitoreo (MEM) capaz de obtener información de sensores digitales y electroquímicos y enviar esta información a una base de datos remota.

Cada MEM tiene tres tipos de sensores: clima (temperatura y humedad), ambientales (ozono, monóxido de carbono, dióxido de carbono, luminosidad) y ruido captado por un micrófono. La MEM tiene cuatro módulos:

(a) Configuración. Donde se captura la geo-posición de la micro- estación y decide el servidor al que recibirá los datos captados. (b) Monitoreo. En este módulo se capturan los datos de los sensores y son enviados al servidor central. (c) Sanación. En donde los sensores son revisados para saber si los datos captados están dentro de los parámetros esperados para en caso de no ser así entonces la MEM entra en modo auto-sanación reseteando al sensor o en caso grave apagando la lectura de ese sensor. (d) Optimización de energía. Este módulo entra en función inmediatamente que hay un corte de energía eléctrica para depender de una batería que permite a la MEM continuar con sus funciones hasta que se restablezca la energía eléctrica.

Implementación del prototipo

Los materiales usados en la implementación del prototipo son:

(1) sensores digitales DHT11 para temperatura y humedad con rangos de 0 a -50 °C and 20—90 % RH, con precisión de ± 2 °C y $\pm 5\%$ RH, (2) fotoresistor análogo para luminosidad con rango de 10 a 1000 Lúmenes, (3) un micrófono con sensibilidad de -46 ± 2 dB y un rango de frecuencia de 100—10000 Hz. (4) Los valores de ozono son adquiridos con el sensor MQ131 con un rango de 10—1000 ppm. (5) Los sensores operan con un Arduino Yun open hardware el cual tiene un microcontrolador ATmega32u4 y un microprocesador Atheros AR9331 con Ethernet and WiFi, un microSD slot y un puerto USB-A.

El sistema computacional fue implementado en PHP con javascript y HTML versión 5. Las bases de datos están administradas por MySQL versión 5.6.2. La geoposición de los datos se hizo con la interfaz de programación aplicaciones de la empresa Google. El hardware utilizado es una 8-core MACPRO 2.4Ghz, 12MB cache L3, 8GB SDRAM ECC, DDR2 1024Mhz, GDDR5 1Gb ATI Radeon HD 5870 corriendo sobre el sistema operativo OSX server 10.7.

Resultados

En esta sección se presentan los resultados de aplicar la estrategia didáctica PBL con estudiantes de nivel licenciatura. En la Figura 2 se presentan algunas evidencias fotográficas de las sesiones de asesoría con la participación de profesores de las áreas ambiental, electrónica, computación con los estudiantes a lo largo del proyecto. En estas reuniones se afinaron detalles de diseño del proyecto e implementación del mismo.

Figura 2 Fotografías de las sesiones de asesoría a los estudiantes a lo largo del proyecto

En la Tabla 1 se muestran las horas utilizadas por los estudiantes por cada una de las etapas del proyecto. En la tabla se tiene un total de 518 horas de trabajo utilizadas por parte de todos los participantes. También se observa que el trabajo en laboratorio casi equiparable al trabajo realizado en casa mientras que el tiempo dedicado a la asesoría por parte de los profesores solo representa el 14% del tiempo utilizado. Es importante aclarar que los estudiantes de ingeniería ambiental participaron poco en el proyecto debido a que su participación se concentró en conseguir datos de las redes de monitoreo activas en México y no participaron en la creación del prototipo. La ingeniería del prototipo costó casi el 50% del tiempo lo que indica que es necesario equilibrar el tiempo de participación de los estudiantes en este tipo de proyectos.

Tabla 1
Tiempo utilizado por los estudiantes para completar el proyecto.

	Programa Educativo			Total	Porcentaje
	IA	IEC	ITC		
Capacitación	2	20	10	32	6.17
Diseño	1	40	50	91	17.56
Implementación	10	50	40	100	19.30
Pruebas	0	40	20	60	11.58
Documentación	0	20	40	60	11.58
Trabajo en casa	40	25	40	105	20.27
Asesoría con profesores	20	30	20	70	13.51
TOTAL	73	225	220	518	100%

Nota: IA: Ingeniería Ambiental, IEC: Ingeniería en Electrónica y Comunicaciones, ITC: Ingeniería en Tecnologías Computacionales.

En la Figura 3 se presenta la implementación del circuito en un protoboard donde se hicieron las pruebas técnicas de captura de señales. Cabe señalar que el sistema no ha sido implementado en masa para poder ser fabricado en placas electrónicas, sin embargo, este prototipo nos permite conocer el funcionamiento general del sistema.

En la Figura 4 se presenta la captura de pantalla de la interfaz gráfica del sistema de recuperación de datos del monitoreo. Como se puede apreciar, el sistema presenta los datos capturados en tiempo real donde los pines de colores indican la presencia de una MEM y el color indica el nivel de contaminación en esa localidad. Es también importante aclarar que las mediciones tienen una efectividad de un kilómetro a la redonda de la MEM. El usuario puede consultar los datos por sensor, por localización de la MEM o por historial de datos capturados por las MEMs.

Un aspecto de diseño del sistema es la geo-posición de las MEMs a lo largo del estado para poder contextualizar los datos obtenidos. Además, se pide que en este mismo mapa se geo- posicione a las fuentes generadoras de contaminantes para comprender mejor los datos. Esta contextualización podría facilitar la lectura de valores elevados de contaminantes y las posibles causas de estas lecturas. Esto con la posibilidad de hacer alertamientos a la población por incidencias de empresas u otras fuentes generadoras de contaminantes.

Figura 3 Implementación en protoboard del circuito de micro-estación de monitoreo

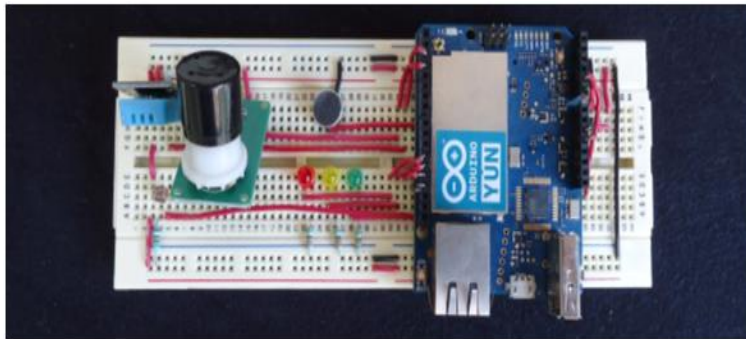


Figura 4 Captura de pantalla del sistema computacional para la visualización de datos ambientales en la ciudad de Poza Rica, Veracruz



Conclusiones

En este artículo se presenta la experiencia de implementar la estrategia didáctica de Aprendizaje Basado en Proyectos con un equipo de 15 estudiantes trabajando en un periodo de 7 meses. Durante este proyecto los estudiantes nunca abandonaron sus estudios universitarios y participaron en el proyecto como voluntarios. En este proyecto participaron estudiantes de las ingenierías: ambiental, tecnologías computacionales y finalmente electrónica y comunicaciones. En cuanto al aprendizaje logrado por los estudiantes se tiene lo siguiente: (a) los estudiantes reportan que aprendieron un poco de las otras áreas académicas involucradas y que esto enriqueció su vida profesional. (b) Después de participar en este proyecto los estudiantes se sienten más capacitados para hacer proyectos multidisciplinarios, (c) Los estudiantes se consideran competentes para trabajar en el área ambiental y contribuir al área de manera significativa sin tener la necesidad de abandonar su área de especialización. (d) los estudiantes reportan ser más conscientes de la problemática de la contaminación del aire en Veracruz, se consideran más sensibles al problema y a la necesidad de encontrar medios tecnológicos para contribuir a una solución.

Referencias

- Barrows, H. S. (1996). "Problem-based learning in medicine and beyond: A brief overview". *New Directions for Teaching and Learning* 1996 (68): 3–12. doi:10.1002/tl.37219966804.
- Briseño, K-G. (2015). Medirán contaminación del aire en Poza Rica. Publicado en 'El Universal Veracruz'. 4 de febrero 2015. Disponible en: <http://goo.gl/b33qS5>. Última consulta 18 de julio del 2015
- Buck Institute for Education (2009). PBL Starter Kit: To-the-Point Advice, Tools and Tips for Your First Project. Disponible en: <http://www.bie.org/tools/toolkit/starter>. Última consulta 18 de julio del 2015.
- Buck Institute for Education. (2013). Introduction to Project-based learning. Disponible en: <http://goo.gl/cxdh8d>. Última consulta 18 de julio del 2015.
- ElProvincial.MX. (2014). Causa contaminación del aire mil 400 muertes anuales en Veracruz. Disponible en: <http://goo.gl/AotPDH>. Última consulta 18 de julio del 2015
- e-Consulta.com Veracruz. (2014). Veracruz contamina el aire más que el Distrito Federal. Disponible en: <http://goo.gl/dvzrTL>. Última consulta 18 de julio del 2015
- Gasser, K.W. (June 2011). "Five Ideas for 21st Century Math Classrooms". *American Secondary Education* 39 (3): 108-116.
- Gobierno de Veracruz. (2015). Veracruz, con voluntad para mejorar la calidad del aire: Clean Air Institute. Disponible en: <http://goo.gl/IbCZav>. Última consulta 18 de julio del 2015
- Imagen del Golfo (2013). Veracruz, el segundo estado que más contamina en México: Semarnat. Disponible en: <http://goo.gl/bcEMci>. Última consulta 18 de julio del 2015

Neville, AJ (2009). "Problem-based learning and medical education forty years on. A review of its effects on knowledge and clinical performance.". *Medical principles and practice: international journal of the Kuwait University, Health Science Centre* 18 (1): 1-9. PMID 19060483

Paredes, Y. (2014). Urge atender calidad del aire. Publicado en 'El heraldo Veracruz'. 18 de Agosto de 2014, 01:31. Disponible en: <http://goo.gl/pTPqT2>. Última consulta 18 de julio del 2015

Purser, R.E. (2013). Problem-based learning. Disponible en: <http://goo.gl/zrrkvm>. Última consulta 18 de julio del 2015

RAMA - Red Automática de Monitoreo Atmosférico de la Zona Metropolitana del Valle de Toluca. Secretaría del Medio Ambiente. (2015). Disponible en: <http://goo.gl/DFDf7b>. Última consulta 18 de julio del 2015

Registro de Emisiones y Transferencia de Contaminantes - RETC. (2009). Son Pemex y CFE las empresas más contaminantes del aire. Disponible en: <http://goo.gl/pxxgjI>. Última consulta 18 de julio del 2015

Respira México. (2014). Veracruz invertirá 2.5 mdp para mejorar la calidad del aire. Disponible en: <http://goo.gl/0ZSkC0>. Última consulta 18 de julio del 2015.

SEDEMA - Secretaría del Medio Ambiente del estado de Veracruz. (2015). Disponible en: <http://goo.gl/DlrqkO>. Última consulta 18 de julio del 2015

SINAICA - Dirección General del Centro Nacional de Investigación y Capacitación Ambiental. Sistema Nacional de Información de la Calidad del Aire. (2015). Disponible en: <http://sinaica.ine.gob.mx/>. Última consulta 18 de julio del 2015

Veracruzanos.info (2014). La contaminación del aire, principal causa de muerte en el mundo. SEMARNAT. Disponible en: <http://goo.gl/qOUq2z>. Última consulta 18 de julio del 2015