

Título del proyecto

Integración de nuevas metodologías para gestión medioambiental

Financiado por

Proyectos de I+D "EXCELENCIA" y Proyectos de I+D+I "RETOS INVESTIGACIÓN"

Dirección General de Investigación Científica y Técnica

Subdirección General de Proyectos de Investigación

Referencia

CTM2014-55014-C3-1-R

Título del subproyecto

Integración de nuevas metodologías en simulación de campos de viento, radiación solar y calidad del aire

Referencia

604155032-55032-45-514

Coordinador del proyecto

Rafael Montenegro Armas

Gustavo Montero García

Dirección web

<http://www.dca.iusiani.ulpgc.es/proyecto2015-2017/html/index.html>

Hipótesis iniciales y objetivos del proyecto

Hoy en día la modelización numérica se ha convertido en una herramienta esencial para el análisis y la predicción de un gran número de fenómenos físicos. El modelado numérico incluye la formulación matemática del fenómeno y la resolución numérica del problema matemático involucrado. Este subproyecto se centra en la simulación de tres fenómenos del medio ambiente: (1) Los campos de viento, (2) la calidad del aire y (3) la radiación solar. Aunque son problemas diferentes, existen muchos puntos en común entre ellos. Todos ellos se definen en tipos de dominios similares y por lo tanto pueden ser utilizadas las mismas técnicas de discretización. Los resultados de los modelos de viento afectan críticamente a la simulación de la contaminación del aire. Así, el primer problema es esencial para la realización de las otras simulaciones. Además, la modelización eólica tiene sus propias aplicaciones (mapas de viento).

La contaminación del aire está relacionada con problemas de propagación inestable que pueden describirse matemáticamente mediante una ecuación de convección-difusión-reacción y por lo tanto resolverse mediante el uso de técnicas numéricas similares. El modelado de la radiación solar es también un problema medioambiental cuya naturaleza es principalmente geométrica. Por último, los fenómenos estudiados tienen aplicaciones técnicas claras. Entre ellas, destacamos: la construcción de mapas de viento, el estudio y control y predicción de las inmisiones contaminantes, y la construcción de mapas de radiación solar. Por esta razón, proponemos un tratamiento conjunto de los problemas en el contexto de este proyecto coordinado. Los objetivos principales del proyecto coordinado son los siguientes:

- Desarrollo e implementación de entornos para la predicción de los fenómenos del campo de viento, la calidad del aire y la radiación solar. Desarrollo de generadores de malla específicos para los entornos desarrollados.
- Desarrollo de los algoritmos numéricos avanzados para la simulación de los fenómenos
- Ajuste y validación de los modelos que rigen los fenómenos.

Adecuación del proyecto al reto de investigación “Acción sobre el cambio climático y eficiencia en la utilización de recursos y materias primas”

Los problemas ambientales de esta propuesta (campos de viento, contaminación del aire, radiación solar) tienen un gran impacto social, económico y científico. Hoy en día, se está considerando el cambio climático como uno de los problemas más importantes de nuestro planeta. Por ello, el uso eficiente de energías renovables (eólica y solar) está aumentando de forma exponencial. Por otra parte, la disminución de la contaminación es necesaria para mantener la calidad de los ecosistemas y el medioambiente humano. Los objetivos científicos propuestos en este proyecto son claros, accesibles y adecuados. Nosotros no tratamos de reproducir las herramientas que ya existen, sino que pretendemos resolver problemas que no pueden ser resueltos por los códigos estándar conocidos. Nuestro modelo de viento es capaz de construir un campo de viento a partir de pocas medidas experimentales. Esto es importante para el diagnóstico o evaluación de la energía eólica en una zona. Sin embargo, las empresas también están interesadas en la predicción de energías renovables para optimizar la red eléctrica. Para ello, nuestros modelos locales de adaptación (con una resolución de unos pocos metros) deben conectarse con los modelos de meso-escala de predicción (con una resolución de kilómetros). Para ello, nos hemos centrado en el código HARMONIE. En el marco de la contaminación del aire, los objetivos son similares. El código local de adaptación que estamos desarrollando va a extraer la información meteorológica y de la calidad del aire a partir de los códigos MM5-CMAQ. El modelo de radiación solar será diseñado tanto para el diagnóstico, como para la predicción. Todo esto justifica la adecuación de nuestra propuesta a la convocatoria.

Objetivos específicos del subproyecto

Los objetivos de este subproyecto son los siguientes:

1. Adaptatividad de la malla a la solución del campo de viento y la calidad del aire. Estudio de estimadores/indicadores de error y refinamiento/desrefinamiento de la malla.

2. Mejoras en los modelos físicos. Se introducirán modelos más sofisticados que añaden el efecto de la turbulencia para la cizalladura del viento y la sobreelevación de la pluma de contaminantes. En el campo de la radiación solar se mejorará la localización de sombras.

3. Mejoras en la integración con los modelos regionales. Se mejorará la asimilación de parámetros entre el modelo local de viento y el modelo regional HARMONIE, así como entre el modelo local de calidad del aire y el CMAQ. Se mejorarán los algoritmos genéticos usados para la estimación de los parámetros. En el campo de la radiación solar se propone un método para la obtención del índice de claridad a partir de la información de la nubosidad proporcionada por HARMONIE.

4. Métodos “ensemble”. Se desarrollará un modelo “ensemble” para la predicción de campos de viento, calidad del aire y radiación solar.

5. Modelo de viento para entornos urbanos. Se estudiarán los modelos de viento específicos para campos de viento y calidad del aire en entornos urbanos.

6. En el campo de la radiación solar se integrará en el modelo la estimación de los índices de claridad para cada paso temporal mediante redes neuronales artificiales (RNA). Así como modelos de producción de energía eléctrica fotovoltaica y solar termoeléctrica conectados con los modelos de generación de mapas de radiación solar y solar predictivo que permitan predecir valores de generación de energía eléctrica para centrales solares, con el objetivo de mejorar la gestión de los sistemas eléctricos de potencia.

Desarrollando estos objetivos por tareas, tendremos:

Tarea 1: Modelos de campo de viento: El modelo de viento actual considera un perfil de viento logarítmico lineal. Se pretende estudiar el uso de distintos perfiles verticales que permitan modelar algunos fenómenos físicos que en la actualidad no se reflejan en el modelo. En particular, se estudiarán las modificaciones necesarias para tener en cuenta el efecto de cizalladura de viento en condiciones turbulentas y se realizarán modificaciones en el perfil vertical de viento. Se estudiarán las modificaciones necesarias para adaptar el actual modelo de viento a entornos urbanos. Concretamente, habrá que modificar tanto el perfil horizontal de viento como el vertical, para que el modelo tenga en cuenta el efecto de la canalización del viento en zonas densamente edificadas.

Tarea 2: Modelos de radiación: En primer lugar, definiremos el modelo de radiación solar. El modelo comienza con el cálculo de la radiación global como suma de las tres componentes, directa, difusa y reflejada, sobre una región de estudio bajo condiciones de cielo limpio, utilizando una malla de triángulos adaptada a las características del terreno (orografía y albedo). En este sentido, las superficies inclinadas tendrán un tratamiento diferente de las horizontales y se tendrá en cuenta el efecto de las zonas en sombra. Las sombras pueden tener dos naturalezas diferentes, una debida a la posición de la superficie respecto al sol (sombra posicional) y otra por la proyección de obstáculos situados entre la superficie y el sol (sombra proyectada). Aprovechando las características geométricas de la malla de la superficie del terreno, se propone diseñar un procedimiento que reduzca el coste computacional de este paso del modelo que suele constituir gran parte del coste global de cada caso simulado. Los

resultados de radiación en cielo limpio se corregirán mediante el uso de medidas experimentales o mediante los resultados del modelo de predicción de HARMONIE. La estimación de la radiación solar diaria proporcionada por dicho modelo se utilizará para ajustar los resultados de “clear-sky” y obtener la radiación “real-sky”. Por otro lado, se propone un método para la obtención del índice de claridad a partir de la información de la nubosidad proporcionada por HARMONIE. Finalmente, ensayaremos diferentes métodos de interpolación para obtener los valores de radiación en cielo cubierto a partir del índice de claridad.

Tarea 3: Modelos de calidad: Se implementará un modelo de sobre-elevación de la pluma más realista, actualmente se usa la trayectoria definida por Briggs y una forma Gaussiana. En este proyecto se pretende añadir el efecto de la turbulencia en la trayectoria de la pluma y así poder obtener resultados más realistas. Se adaptará el modelo de calidad del aire a entornos urbanos. Se caracterizarán los parámetros de difusión específicos para zonas urbanas. Los resultados de la tarea (viento urbano) se utilizarán para resolver el problema de la calidad del aire. El actual modelo de dispersión de contaminantes está desarrollado para fuentes puntuales de gases ligeros. Se incorporará al modelo el caso de fuentes distribuidas y gases pesados.

Tarea 4: Adaptatividad espacial y temporal: Con el objetivo de mejorar la eficiencia computacional de las aplicaciones que se desarrollan en este proyecto, se analizarán técnicas de adaptividad. Se implementará la adaptatividad jerárquica del modelo de calidad del aire. Se usará un indicador de error y, con la facilidad del mallador de refinar y desrefinar jerárquicamente, se interpolarán los valores entre mallas de manera rápida y eficiente. También se implementará la simulación del transporte de contaminantes usando una malla adaptada a cada especie por separado. Para resolver la reacción de los contaminantes se usará la malla definida por la intersección de las mallas más finas de todas las mallas. Este procedimiento nos permite aprovechar las arquitecturas paralelas y resolver sistemas de ecuaciones más pequeños de manera distribuida, en lugar de un sistema grande en serie. En particular, aprovechando la estructura discontinua de estos elementos finitos, además de una adaptividad en el tamaño de los elementos de la malla, se quiere incluir en el código una estrategia de adaptividad en el grado polinomial. En segundo lugar se analizarán las escalas temporales de los diferentes fenómenos físicos descritos por el modelo y se estudiarán posibles estrategias de adaptividad temporal utilizando técnicas de descomposición de dominio en tiempo.

Tarea 5: Estrategias avanzadas de resolución de sistemas: En esta tarea se desarrollarán algoritmos de reenumeración del grafo asociado a la matriz del sistema a fin de reducir el coste computacional. Se analizarán e implementarán los preconditionadores adecuados a las características de la matriz asociada al sistema. Finalmente se implantará un método iterativo tipo Kyrlov. También se considerarán los métodos multimalla como preconditionadores de la matriz o como método de resolución.

Tarea 6: Análisis isogeométrico del campo de viento: El análisis isogeométrico permite la construcción de una solución suave (C2) que no puede ser obtenida mediante el método de elementos finitos. El objetivo de esta tarea es comparar ambas estrategias.

Tarea 7: Técnicas de computación paralela: La paralelización de los modelos tiene como objetivo la mejora del rendimiento de los programas que los implementan. El objetivo de esta tarea es analizar estos códigos, así como sus interacciones, en busca de oportunidades de paralelización. Tras la etapa de análisis, se propondrán diseños que permitan explotar las oportunidades identificadas, considerando distintas arquitecturas paralelas. A continuación, se implementará alguno de los diseños propuestos y se realizarán medidas de las mejoras en la eficiencia. Una de las opciones a analizar es la paralelización mediante GPU (Graphics Processing Units), ya que estas plataformas tienen una arquitectura masivamente paralela que permite reducir los tiempos de ejecución de forma drástica respecto a una CPU. La estimación de parámetros (tarea 3.3) mediante algoritmos genéticos puede ser objeto de paralelización, utilizando para ello un clúster de ordenadores. Por otra parte, hay tareas relacionadas con la asimilación de datos, tales como las técnicas de filtro de Kalman conjuntista local, que difícilmente pueden realizarse eficientemente sin emplear computación paralela.

Tarea 8: Estimación de parámetros: En los problemas de campo de viento, calidad del aire y simulación de incendios se pretende avanzar en el aspecto de la estimación de parámetros. Por una parte, mejorando la eficiencia en la aplicación de algoritmos genéticos, buscando la manera de aumentar la precisión de las soluciones obtenidas, bien reduciendo el número de evaluaciones necesaria. Por otra parte, se estudiará la aplicación de otras técnicas meta-heurísticas y/o de computación evolutiva, como la evolución diferencial, que recientemente se ha usado con éxito en otros problemas de estimación de parámetros. También se utilizarán métodos de ajuste de parámetros basados en el Filtro de Kalman, y en general otro tipo de métodos de mínimos cuadrados. Finalmente, se realizará un estudio comparativo de los resultados obtenidos con ambas metodologías.

Tarea 9: Validación de la integración de modelos locales y meso-escala: Realizaremos varios ensayos para comparar los resultados obtenidos por los modelos de campo de viento, radiación solar y calidad del aire con los datos experimentales disponibles (suministrados por las EPO de este proyecto).

Tarea 10: Métodos “ensemble” para la predicción de campo de viento, calidad del aire y radiación solar: Se usará la metodología “ensemble” para predicción de campos de viento. Para ello, aprovechando la integración con el modelo HARMONIE, se propone estudiar la perturbación de los parámetros y los datos de viento previa al uso de los mismos como entradas al modelo de masa consistente. También se aplicarán, en este contexto, distintos modelos de perfiles verticales de viento. Para gestionar la incertidumbre intrínseca a la calidad

del aire se desarrollará un modelo “ensemble”. Los avances en el campo de viento servirán como base para desarrollarlos en el modelo de calidad del aire. Se perturbará el parámetro de difusión y las condiciones iniciales.

Tarea 11: Desarrollo de generación de mallas para orografías complejas y zonas urbanas: En esta tarea se adaptará el generador de mallas para topografía compleja basado en el método del mecano a zonas urbanas. La principal tarea es la descripción y mallado de las distintas geometrías específicas de las zonas urbanas como edificios, calles, etc.

Tarea 12: Detección de sombras en superficies: La detección de sombras sobre superficies es un aspecto crítico del modelo de radiación solar ya que aumenta la precisión de los resultados, aunque a costa de un considerable coste computacional. En esta tarea se desarrollará una implementación eficiente de este módulo aprovechando la geometría de la malla del terreno y la computación paralela.

Tarea 13: Integración del modelo local de viento con modelos regionales: Aunque actualmente se están usando determinados datos de HARMONIE para alimentar el modelo de viento, es necesario estudiar la posibilidad de emplear otros que podrían mejorar la integración entre ambos modelos. En particular, es importante determinar alguna relación entre las salidas de HARMONIE y el parámetro alfa del modelo de viento, uno de los que más influencia tiene en los resultados. Asimismo, se estudiará la creación de mallas específicas que faciliten la integración entre los modelos.

Tarea 14: Integración del modelo local de calidad del aire con modelos: En este proyecto se avanzará en la integración de modelos regionales (CMAQ) con el modelo local desarrollado en los proyectos anteriores. Actualmente existe la integración en un sentido donde el modelo local asimila datos del modelo regional. En este proyecto se propone mejorar esta integración y implementar la integración de los resultados del modelo local en el modelo regional.

Tarea 15: Integración del modelo de radiación solar con modelos regionales: En este apartado, el grupo de la ULPGC conectará el modelo HARMONIE con nuestro modelo de radiación solar. El principal objetivo es desarrollar un procedimiento que permita utilizar los resultados de radiación solar y otra información proporcionada por el modelo predictivo, junto con medidas experimentales, para obtener los valores de radiación en cielo cubierto a partir de los de cielo limpio de nuestro modelo local.

Tarea 16: Mallador 2D adaptativo: Ya existe un mallador previo 2D para resolver problemas de radiación solar. En esta tarea se propone adaptarlo para que tenga aplicabilidad en el sector industrial. La compatibilidad con los paquetes estándar usados por la industria será un requisito básico.

Tarea 17: Mallador 3D adaptativo para problemas en la atmósfera: En esta tarea se pretende mejorar el mallador usado para resolver problemas de campo de viento y calidad del aire. Concretamente se propone crear un entorno que sea amigable con los paquetes que ya existen en la industria para este tipo de problemas

Tarea 18: Desarrollo de un entorno para la predicción del campo de viento: Modificación del software registrado Wind3D para producir una nueva versión mejorada, que incorporará funcionalidades adicionales, mejoras en la facilidad de uso. Para esta tarea es necesaria la interacción con las EPOs, particularmente con las que ya han usado la versión actual de Wind3D y que por tanto están en disposición de sugerir mejoras. Además, se registrará la nueva versión del programa Wind3D, así como se difundirá el uso de Wind3D entre las comunidades de potenciales usuarios.

Tarea 19: Desarrollo de un entorno para la predicción de la calidad de la radiación solar: Realización de diversas simulaciones de radiación solar en las Islas Canarias. Los datos meteorológicos y las medidas experimentales se obtendrán del modelo HARMONIE y de las EPO, respectivamente. En esta tarea, el grupo de la ULPGC realizará varias simulaciones de radiación solar en las Islas Canarias. Los datos meteorológicos y las medidas experimentales se obtendrán del modelo HARMONIE y de las EPO, respectivamente. Un objetivo final es construir mapas de radiación mensual y anual de todas las Islas Canarias. Creación de un programa de ordenador con la implementación del modelo de radiación solar. Registro de dicho programa y difusión del mismo entre las comunidades de potenciales usuarios. Para episodios de predicción a muy corto plazo de la radiación solar, se integrará en el modelo desarrollado un procedimiento de estimación de los índices de claridad en cada paso de tiempo mediante redes neuronales artificiales (RNA). Este estudio será objeto de una tesis doctoral.

Tarea 20: Desarrollo de un entorno para la predicción de la calidad del aire: Creación de un programa de ordenador con la implementación del modelo de predicción de la calidad del aire. Registro del programa y difusión del mismo entre las comunidades de potenciales usuarios.