



Medición del Dióxido de Carbono Atmosférico desde el Espacio en Apoyo a los Estudios Relacionados Con el Clima

24 de mayo - 2 de junio 2022

## Sesión 4 de Preguntas y Respuestas

Escriba sus preguntas en el cuadro de preguntas. Haremos lo posible por responderlas. Si no llegamos a contestar su pregunta, por favor comuníquese con Erika Podest ([erika.podest@jpl.nasa.gov](mailto:erika.podest@jpl.nasa.gov)) o John Chun-Han Lin ([John.Lin@utah.edu](mailto:John.Lin@utah.edu)).

**Pregunta 1: ¿Qué instrumentos y qué metodología (son mediciones diarias, mensuales etc.) utilizan para medir el CO2 en Utah?**

**[Eng] What instruments and methodology (are the measurements daily, monthly) do you use to measure CO2 in Utah?**

Respuesta 1: La Universidad de Utah tiene varias redes/sistemas de observación en el valle. Hay una red que registra el CO2 en diferentes puntos en tiempo real usando LGRs. Esta red se llama "Utah Urban Carbon Dioxide Network" (UUCON por sus siglas: <https://essd.copernicus.org/articles/11/1291/2019/>) Además, hay mediciones móviles usando equipo similar. Esta estación de observación está albergada en el sistema de tranvía/tren ligero local (<https://www.mdpi.com/2413-8851/3/4/108/pdf>). Los datos están disponibles en intervalos de 5 minutos. Los datos adquiridos por estaciones estáticas también son de cada 5 minutos.

Response 1: The University of Utah has multiple observation networks/systems in the valley. There is a real-time network that records CO2 at multiple locations using LGRs. This network is called the Utah Urban Carbon Dioxide Network (UUCON; <https://essd.copernicus.org/articles/11/1291/2019/>) Additionally, there are mobile measurements using similar equipment. This observation station is housed on the local lightrail system (<https://www.mdpi.com/2413-8851/3/4/108/pdf>). Data are available in five-minute intervals. Stations also obtain data every 5 minutes. These data may be aggregated at a coarser resolution for typical uses.

**Pregunta 2: STILT y HYSPLIT son 2 modelos lagrangianos. ¿Qué ventajas presenta STILT sobre HYSPLIT?**

**[Eng] STILT and HYSPLIT are 2 Lagrangian models. What advantages does STILT have over HYSPLIT?**

Respuesta 2: El modelo STILT está construido a partir del código fuente de HYSPLIT. STILT incorpora un enfoque diferente para modelar la turbulencia (a través de un proceso de Markov). Además, STILT se usa para producir "huellas de influencia"



específicas a las interacciones de la superficie con la atmósfera, relacionando las influencias contra el viento con una ubicación "receptora". (STILT solo considera partículas debajo de la capa de mezcla cuando genera huellas). Puede ser difícil producir estas huellas solo con HYSPLIT. Para una persona que usa ambos, existen similitudes notables entre sus aspectos técnicos.

<https://agupubs.onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1029/2002JD003161>)

Response 2: The STILT model is built from HYSPLIT's source code. STILT incorporates a different approach for modeling turbulence (via a Markov process). Additionally, STILT is used to produce "influence footprints" specific to surface interactions with the atmosphere, relating upwind influences to a "receptor" location. (STILT only considers particles *below* the mixing layer when generating footprints.) Producing these footprints with HYSPLIT alone may be difficult. For an individual using both, there are noticeable similarities among their technical aspects. (STILT:

<https://agupubs.onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1029/2002JD003161>)

**Pregunta 3: ¿Me podrían explicar por qué las ciudades más densas parecen emitir menos CO<sub>2</sub> a la atmósfera?**

**[Eng] Can you explain why denser cities seem to emit less CO<sub>2</sub> into the atmosphere?**

Respuesta 3: Lo que vemos desde el espacio e incluso desde las observaciones en la superficie son señales producidas por el sector del transporte, que tienden a ser fuertes. Las ciudades más densas tienden a ser menos manejables y más caminables. Esto reduce una de las principales fuentes de emisiones en esas ciudades más densas.

Response 3: What we see from space and even from surface observations are transportation signals, which tend to be strong. Denser cities tend to be less driveable and more walkable. This brings down one of the major sources of emissions in those denser cities.

**Pregunta 4: ¿Se utilizan otros modelos como AERMOD**

**(<https://www.epa.gov/scram/air-quality-dispersion-modeling-preferred-and-recommended-models>) con datos de OCO-2 y OCO-3? AERMOD sí dispone de un modelo meteorológico (AERMET)**

**[Eng] Are other models such as AERMOD**

**(<https://www.epa.gov/scram/air-quality-dispersion-modeling-preferred-and-recommended-models>) used with data from OCO-2 and OCO-3? AERMOD does have a meteorological model (AERMET).**



Respuesta 4: La Universidad de Utah y otros grupos con los que trabajamos tienden a utilizar XSTILT porque podemos proporcionar datos meteorológicos de alta resolución al modelo XSTILT. Otros grupos utilizan WRF (Weather Research and Forecasting) como opción de modelización. No he utilizado AERMOD, pero creo que utiliza un modelo gaussiano o Puff. Tendemos a alejarnos de ellos porque tenemos la capacidad computacional para incorporar la mezcla de la atmósfera y algunos componentes de alta resolución que, de otro modo, podrían perderse con otros modelos que pueden estar simplificados.

No conozco otros grupos que utilicen AERMOD para estudios de CO<sub>2</sub> en columna.

**Response 4: The Univ. of Utah and other groups we work with tend to use X-STILT because we can provide the X-STILT model with high resolution meteorology. Other groups use the Weather Research and Forecasting (WRF) model as a forward modeling option. I have not used AERMOD but I believe it uses a gaussian dispersion model. We tend to steer away from those because we have the computational power to incorporate the mixing from the atmosphere and some high resolution components that you might otherwise lose from other models that may be simplified.**

**I'm unaware of other groups using AERMOD for column-based CO<sub>2</sub> studies.**

**Pregunta 5: ¿Por qué al analizar la información satelital observamos que la concentración de NO<sub>2</sub> se mantiene mayoritariamente sobre el casco urbano y en cambio el CO<sub>2</sub> se dispersa a las afueras del propio casco urbano?**

**[Eng] Why, when analyzing satellite information, do we observe that the concentration of NO<sub>2</sub> is maintained mostly over the urban area, and the CO<sub>2</sub> is dispersed on the outskirts of the urban area itself?**

Respuesta 5: La respuesta a esta pregunta tiene que ver con el tiempo de vida de los diferentes gases. El NO<sub>2</sub> reacciona rápidamente con otras cosas en la atmósfera y tiene una vida muy corta. Se tiende a ver el NO<sub>2</sub> cerca de la fuente, mientras que el CO<sub>2</sub> y posiblemente SO<sub>2</sub> son menos reactivos que el NO<sub>2</sub> y, por lo tanto, se vería más evidencia del gas que ha sido transportado en ubicaciones más alejadas de la fuente.

**Response 5: The answer to this question is about the lifetime of the different gasses. NO<sub>2</sub> reacts quickly with other things in the atmosphere and has a very short lifetime. You tend to see NO<sub>2</sub> close to the source while CO<sub>2</sub> and possibly SO<sub>2</sub> are less reactive than NO<sub>2</sub> and therefore you would see more evidence of the gas that had been transported in locations farther from the source.**



**Pregunta 6: ¿Qué nivel de granularidad existe en la monitorización de ciudades del mundo con el modo SAM? ¿Se podrían identificar fuentes de contaminación significativas? Por ejemplo, en una ciudad costera con un puerto comercial y/o turístico, ¿podrían identificarse los episodios más contaminantes?**

**[Eng] What level of granularity exists in monitoring cities around the world with the SAM mode? Could significant pollution sources be identified? For example, in a coastal city with a commercial and/or tourist port, could the most polluting episodes be identified?**

Respuesta 6: Esto es un trabajo en curso. En este momento lo que podemos determinar es que para ciertos sectores que son fuertes fuentes de CO<sub>2</sub>, 5 o 6 SAMs agregados pueden medir correctamente las emisiones del sector del transporte, el sector de la generación de energía y el sector manufacturero cuando hay grandes fuentes puntuales. En cuanto a poner un límite a la precisión de las emisiones dentro de la ciudad, eso depende de la geografía de la ciudad y de si las grandes emisiones son más bien fuentes puntuales o fuentes de área. También depende del número de observaciones que podamos obtener de OCO-3 sobre estas ciudades. Por el momento, para una ciudad grande como Los Ángeles, parece muy prometedor. Dustin tiene actualmente un documento que está siendo evaluado en el que investiga esta misma pregunta para ver cuántas observaciones serán necesarias (<https://doi.org/10.5194/acp-2022-315>). Hasta ahora, para las ciudades más grandes parece prometedor obtener cuadrantes dentro de una zona urbana extensa y obtener información significativa a esa escala.

Response 6: This is work in progress. Right now what we are able to determine is that for certain sectors that are strong sources of CO<sub>2</sub>, 5 or 6 aggregated SAMs can correctly measure emissions from the transportation sector, the power generation sector and the manufacturing sector when there are large point sources. As far as putting a limit on how well we can pin down emissions within the city, that comes down to the geography of the city and if your large emissions are more of point sources or area sources. It also depends on how many observations we can get from OCO-3 over these cities. As of now, for a larger city like Los Angeles, it is looking very promising. Dustin currently has a paper that is being peer reviewed where he started constraining this very question to see how many observations will be needed (<https://doi.org/10.5194/acp-2022-315>). So far for larger cities it looks promising to obtain at least quadrants of a larger urban area and get meaningful information on that scale.



**Pregunta 7: ¿Qué referencia de algún sensor remoto económico para el monitoreo de CO<sub>2</sub> recomiendan?**

**[Eng] What reference for an inexpensive remote sensor for CO<sub>2</sub> monitoring do you recommend?**

Respuesta 7: Suele ser el caso que cuanto menos caro sea el sensor, mayor es la incertidumbre en la medición. Hay otro grupo en la Universidad de Utah que está empleando los sensores de Purple Air en todo el valle de Salt Lake. Se han dado cuenta de que necesitan muchos de estos sensores recolectando datos a la vez para restringir estadísticamente su incertidumbre de una manera que sea útil. Los sensores de Purple Air son baratos y fáciles de mantener, pero tienen grandes incertidumbres. El modo en que este grupo ha abordado este problema es tener muchos de ellos recolectando datos al mismo tiempo. Los sensores LGR que utiliza el grupo del Dr. Lin son más caros, alrededor de de 20,000 dólares estadounidenses. Requieren un mantenimiento periódico. Sin embargo, son de grado de investigación y tienen mucho menos incertidumbre. También son más robustos que los sensores de Purple Air, pero dado el costo, lo más probable es que haya menos de ellos para distribuir en el campo. El sensor EM27 recolecta muy buenas mediciones de columna pero ese instrumento cuesta 200,000 dólares estadounidenses. En cuanto a la recomendación de sensores, sugerimos los sensores de Purple Air como una opción económica, pero tengan en cuenta que será más difícil obtener mediciones útiles debido a sus mayores incertidumbres.

Response 7: It tends to be the case that the less expensive the sensor the larger the uncertainty in the measurement. There is another group at the University of Utah that is employing the Purple Air sensors across the Salt Lake Valley. They are finding that they need many of these sensors collecting data at a time in order to statistically constrain their uncertainty in a way that is useful. These Purple Air sensors are inexpensive and they are easy to maintain however they come with large uncertainties. The way that this group has been addressing that is to have lots of them collecting data at the same time. The LGR sensors that Dr. Lin's group uses are more expensive, on the order of \$20,000 U.S. Dollars. They require periodic maintenance. However, they are research grade and you have much less uncertainty. They are also more robust than the Purple Air sensors but given the cost you will most likely have less of them to deploy into the field. On the higher end, there are very good column measurements from the EM27 sensor. That instrument costs \$200,000 U.S. Dollars. As far as recommending sensors we suggest the Purple Air sensors for something inexpensive but keep in mind that it will be harder to constrain the signals that you are sensing due to their higher uncertainties.



**Pregunta 8: ¿Es fructífero usar métodos de inversión bayesianos en relación a la metodología STILT?**

**[Eng] Is it fruitful to use Bayesian inversion methods in relation to the STILT methodology?**

Respuesta 8: Cuando STILT genera huellas, ese conjunto de valores en la huella es el “forward model” en su ecuación de inversión. Se presta fácilmente para crear un valor muy utilizable en su ecuación de versión bayesiana. Nuestro grupo ha trabajado mucho con redes terrestres y hemos encontrado que cuando se adquieren mediciones de CO<sub>2</sub> de la superficie y se aplica una inversión bayesiana, al tener señales más altas en la superficie se obtiene una gran cantidad de corrección. En el Valle de Salt Lake vemos correcciones de las inversiones que ocurren allí y obtenemos buenos resultados. Cuando se aplican estas inversiones a escala urbana con datos de columna, resulta más difícil obtener una corrección de la versión bayesiana. Lo que hemos observado utilizando Los Ángeles como caso de estudio es que tenemos que tener nuestros errores previos bien caracterizados. Si tenemos algún tipo de fuentes puntuales grandes desajustadas o mal ubicadas, eso causará problemas. También necesitamos información meteorológica. Yo suelo utilizar los datos de HRRR, que es solo para Estados Unidos y tiene una resolución de 3 km. Siempre y cuando los errores de transporte y los errores de emisión previos estén bien caracterizados, podremos obtener correcciones significativas de una inversión bayesiana. La razón por la que tenemos que centrarnos más en estas incertidumbres en el espacio de la columna es porque pasamos de tener una señal de una estación de monitoreo en la superficie que podría ser de 20 ppm por el tráfico, que se atenúa a medida que nos movemos por la columna. La señal fuerte de la superficie puede ser sólo de 1 o 2 ppm en la columna. El tener mucho ruido de fondo con una pequeña señal en el espacio de la columna requiere tener incertidumbres bien caracterizadas en su versión bayesiana. Una vez que se haya cumplido este criterio, se podrán obtener correcciones significativas para las emisiones específicas de algún sector para las ciudades más grandes, como Los Ángeles. (<https://doi.org/10.5194/acp-2022-315>)

**Response 8: When STILT generates footprints, that array of values in the footprint is your forward model in your inversion equation. It easily lends itself to creating a greatly usable value in your Bayesian version equation. Our group has done a lot of work with surface networks and we have found that when you look at surface data with CO<sub>2</sub> measurements and you apply a Bayesian inversion, because you have larger signals at the surface you get a large amount of correction. In the Salt Lake Valley we see corrections from inversions that we expect and it produces good results. When you**



apply these inversions at the urban scale with column data it becomes harder to get a correction from your Bayesian version. What we have noticed using Los Angeles as a test case is that we have to have our prior errors well constrained. If we have any sort of mismatched or poorly located large point sources, that will cause problems. We also need meteorology information. I usually use the HRRR dataset, which is US only and has a resolution of 3km. As long as the transport errors and prior emission errors are well constrained we can get meaningful corrections from a Bayesian inversion. The reason why we have to focus more on these uncertainties in the column space is because we go from having a signal from a surface monitoring station that could be 20 ppm from traffic, which gets attenuated as we move through the column. The strong signal from the surface may only be 1 or 2 ppm in the column. Having a lot of background noise with a small signal in column space requires you to have well constrained uncertainties in your Bayesian version. Once you have met that criteria you can get meaningful corrections for sector specific emissions for larger cities such as Los Angeles. (<https://doi.org/10.5194/acp-2022-315>)

**Pregunta 9: Hemos visto que el factor de humedad es importante en el monitoreo de CO<sub>2</sub>. ¿Qué nos puede decir respecto a la altura sobre el nivel del mar de las ciudades?**

**[Eng] We have seen that the humidity factor is important in monitoring CO<sub>2</sub>. What can you tell us about the height above sea level of cities?**

Respuesta 9: Desde el punto de vista de las observaciones por satélite, la altura sobre el nivel del mar de una determinada ciudad no afecta las mediciones del satélite siempre y cuando no haya cambios drásticos de elevación. Por ejemplo, las mediciones sobre Denver (1 milla o 1600 metros de altura) no se ven afectadas porque es una ciudad bastante plana. En cuanto a la humedad, las nubes bloquearán las observaciones de OCO-2/-3. Si nos fijamos en los datos de SAM de OCO-3 sobre Hawai, incluso en los días sin nubes, el cambio desde el nivel del mar hasta las montañas altas causa problemas. La mayor influencia de la humedad y la altitud se debe a la ubicación del clima regional. En Salt Lake City no hay mucha humedad ni grandes cambios en la elevación. En ciudades más tropicales, incluso costeras o cercanas al nivel del mar, las adquisiciones con el modo SAM son difíciles debido a la nubosidad.

Response 9: From the perspective of satellite observations, height above sea level for a particular city does not matter as much to the satellite as long as there are no drastic changes in elevation. For example, measurements over Denver (1 mi. or 1600 meters high) aren't affected because it's rather flat. Regarding humidity, clouds will block



## Medición del Dióxido de Carbono Atmosférico desde el Espacio en Apoyo a los Estudios Relacionados Con el Clima

24 de mayo - 2 de junio 2022

observations from OCO-2/-3. If we look at OCO-3 SAMs over Hawaii, even on cloud-free days, the change from sea-level to high mountains causes issues. The biggest effects of humidity and altitude comes down to where you are in the regional climate. Salt Lake City doesn't have much humidity or big changes in elevation. In more tropical cities, even coastal or near sea-level, SAMs are difficult because of cloud cover.