

# Posibles escenarios energéticos con vistas al cumplimiento del Acuerdo de París

J. Peñuelas<sup>1,2,\*</sup>, J. Sardans<sup>1,2</sup>, B. Walsh<sup>3</sup>, P. Ciais<sup>4</sup>, I.A. Janssens<sup>5</sup>, K. Riahi<sup>3</sup>, F. Rydzak<sup>3</sup>, D. van Vuuren<sup>6,7</sup>, M. Obersteiner<sup>8</sup>

(1) CSIC, Global Ecology Unit CREAM-CSIC-UAB, Bellaterra 08193, (Catalonia), Spain.

(2) CREAM, Cerdanyola del Valles 08193 (Catalonia), Spain.

(3) Global Facility for Disaster Reduction and Recovery, World Bank Group

(4) Laboratoire des Sciences du Climat et de L'EnvironnementCEA-CNRS-UVSQ, Saint-Aubin, France.

(5) University of Antwerp, Wilrijk, Belgium.

(6) PBL Netherlands Environmental Assessment Agency, The Hague, The Netherlands.

(7) Copernicus Institute for Sustainable Development, Utrecht University, Utrecht, The Netherlands.

(8) International Institute for Applied Systems Analysis, Laxenburg, Austria

\* Autor de correspondencia: J. Peñuelas [[josep.penuelas@uab.cat](mailto:josep.penuelas@uab.cat)]

> Recibido el 25 de octubre de 2017 - Aceptado el 11 de noviembre de 2017

**Peñuelas J., Sardans J., Walsh B., Ciais P., Janssens I.A., Riahi K., Rydzak F., van Vuuren D., Obersteiner M. 2017. Posibles escenarios energéticos con vistas al cumplimiento del Acuerdo de París. *Ecosistemas* 26(3): 103-105. Doi.: 10.7818/ECOS.2017.26-3.12**

En la pasada cumbre de París de Diciembre del 2015 (COP21) se estableció como objetivo llegar a acuerdos que permitan alcanzar un balance cero entre las emisiones de CO<sub>2</sub> y su captura por los sumideros de CO<sub>2</sub> del planeta a finales de este siglo, con un aumento máximo de la temperatura de 1.5 °C respecto a la temperatura pre-industrial. La implementación de estos objetivos se deja en manos de cada estado, con lo que ello implica de falta de concreción. Considerando diferentes escenarios de desarrollo económico y de apuesta por el uso de diferentes tecnologías, hemos calculado la evolución de las emisiones y concentraciones atmosféricas de CO<sub>2</sub> y los incrementos de temperatura respecto al periodo pre-industrial en el horizonte del año 2100. Se analizaron 4 escenarios: (i) el BAU (Business as usual) donde se contempla que de cara al futuro se continuará con las tendencias actuales a nivel de la producción energética, modelo económico y usos del suelo, con un incremento anual de las energías renovables del 4%; (ii) el CF (combustible fósil) con un porcentaje de energía proveniente de carburantes fósiles que representaría un 90% del total a lo largo del presente siglo, con un incremento anual de las energías renovables del 2.2%; el ER-L (energía renovable-lenta), donde las energías renovables crecerían a un ritmo de 4.4% desde 2015 a 2100; y (iv) el ER-R (energía renovable-rápida), con una transición hacia las energías renovables del 5% anual. Los resultados muestran valores de concentraciones de CO<sub>2</sub> atmosférico (ppm) e incrementos de Temperatura respecto a la época pre-industrial de 684-743 ppm y 3.1-3.3 °C (BAU), 749-823 ppm y 3.4-3.6 °C (CF), 633-686 ppm y 2.9-3.1 °C (ER-L) y 532-563 ppm y 2.5-2.6 °C (ER-R). Así no se alcanzarían en ningún caso los objetivos de la cumbre de París. Pero sí a los escenarios de ER-R le añadimos técnicas de captura y secuestro de carbono se podría aun equilibrar el balance de carbono para alcanzar los objetivos del COP. En el caso más favorable (ER-R), aplicando la tecnología necesaria para absorber un 80% de las emisiones de CO<sub>2</sub> de todas las plantas de generación de energía a escala global nos situaríamos al final de siglo en unos niveles de concentración de CO<sub>2</sub> atmosférico de entre 328-363 ppm y un incremento de temperatura de 1.2-1.4 °C respecto a la época preindustrial. Así pues, tan sólo el escenario de rápida implementación de las energías renovables complementada con un gran aumento de los procesos de captura y secuestro de carbono en las plantas productoras de energía permitiría conseguir los objetivos de París.

**Palabras clave:** escenarios energéticos; Acuerdo de París 2015 (COP21); cambio climático; captura y secuestro de carbono; energías renovables

**Peñuelas J., Sardans J., Walsh B., Ciais P., Janssens I.A., Riahi K., Rydzak F., van Vuuren D., Obersteiner M. 2017. Possible pathways for balancing CO<sub>2</sub> emissions and sinks as agreed in Paris COP21. *Ecosistemas* 26(3): 103-105. Doi.: 10.7818/ECOS.2017.26-3.12**

A zero balance between the emissions and capture by the earth sinks of CO<sub>2</sub> with a maximum rise of Temperature of 1.5 °C with respect to the pre-industrial period was established by Paris COP21 as the global objective by the end of this century. The accomplishment of this objective is uncertain mostly because it was left to the responsibility of each estate. We have calculated the possible evolution of CO<sub>2</sub> emissions along this century and the possible final values of atmospheric CO<sub>2</sub> concentrations and temperature under four different scenarios: BAU (Business as usual) with a continuation of the current trends of economic development, energy production and soil uses, and with a year increment of renewable energies of 4%; FF (fossil fuel) with fossil energies representing 90% of total global production and with a year increment of renewable energies of 2.2%; RE-S (renewable-slow) with renewable energies growing 4.4% per year; and RE-F (renewable-fast) renewable energies growing 5% per year. The values of atmospheric CO<sub>2</sub> concentrations (ppm) and Temperature (°C) increases would be 684-743 and 3.1-3.3 (BAU), 749-823 and 3.4-3.6 (FC), 633-686 and 2.9-3.1 (RE-S) and 532-563 and 2.5-2.6 (RE-F) respectively. Therefore in none of these scenarios the objectives of the COP21 would be accomplished. This accomplishment would only be possible if the technologies of CO<sub>2</sub> capture in the electric power plants would complement the RE-F scenario. Only combining the RE-F scenario with the application of a technology to absorb 80% of the CO<sub>2</sub> emissions of the electric power plant, levels of 328-363 ppm and an increase of 1.2-1.4 °C could be achieved, and thus the COP21 objectives could be accomplished.

**Key words:** energy scenarios; Paris Memorandum of Understanding 2015 (COP21); climatic change; carbon capture and sequestration; renewable energies

Los líderes mundiales de 195 países se reunieron en la pasada cumbre de París de Diciembre del 2015 (COP21). El objetivo era llegar a acuerdos que permitan alcanzar un balance cero entre las emisiones de CO<sub>2</sub> y su captura por los sumideros de CO<sub>2</sub> del planeta a finales de este siglo. La finalidad última es la de tener un aumento máximo de la temperatura de 1.5 °C respecto a la temperatura pre-industrial (UNFCCC 2015).

Los acuerdos a los que llegaron especificaban que para alcanzar este objetivo se deberían alcanzar los máximos de emisión lo antes posible y abogaban por el desarrollo y aplicación a gran escala de nuevas tecnologías tanto en la obtención y uso de la energía como en la captura de CO<sub>2</sub>. Se establece pues la necesidad de una des-carbonización completa en la producción de energía y unas políticas de usos del suelo que impliquen una menor emisión de CO<sub>2</sub>. Pero, la implementación de estos objetivos se deja en manos de cada estado, con lo que ello implica de falta de concreción en las medidas a establecer a escala global.

Para concretar el impacto de diferentes medidas y políticas a escala global sobre los balances de carbono a escala planetaria y lo que pueden significar en términos de aumento de las concentraciones de CO<sub>2</sub> atmosférico y calentamiento global, un equipo de científicos europeos hemos analizado las posibilidades de alcanzar los objetivos de la conferencia de París bajo diferentes escenarios de desarrollo económico y de apuesta por el uso de diferentes tecnologías (Walsh et al 2017).

La principal conclusión de este estudio establece que sólo un rápido crecimiento de las energías renovables (aproximadamente de un 5% anual), junto con la aplicación rápida y general de las nuevas tecnologías para el secuestro y almacenamiento de C, y una gestión más eficiente de los usos del suelo, incluyendo una política forestal adecuada a escala global, pueden llevarnos a una sociedad libre de carburantes fósiles a finales de este siglo, con un paulatino retorno a los niveles de concentración de CO<sub>2</sub> atmosféricos pre-industriales. Se deduce también que, salvo aparición de avances tecnológicos imprevistos, las emisiones de CO<sub>2</sub> ligadas a actividades humanas necesitarían comenzar a descender dentro de los próximos 10 años, y que sería necesario reducir a una cuarta parte los niveles actuales de producción de energía a partir de los carburantes fósiles para acercarse a los objetivos establecidos en la conferencia de París.

En este estudio se analizaron cuatro escenarios. En un primer escenario se contempla que de cara al futuro se continuará con las tendencias actuales a nivel de la producción energética, modelo económico y usos del suelo, con un aumento anual de las energías renovables del 4% (escenario BAU por las siglas en inglés de "business as usual"). En un segundo escenario, (escenario combustible fósil; CF) se supone que las energías fósiles continuarán siendo la base de la producción energética a escala mundial con emisiones más o menos constantes hasta el 2100. A estos escenarios inmovilistas, se le contraponen otros dos escenarios en los cuales la dependencia de las energías renovables se acelera, en el primero lentamente (4.4% anual; ER-L) y en el segundo más rápidamente (5%; ER-R). Finalmente, el estudio considera también, bajo los dos últimos escenarios, la utilización a gran escala de tecnologías que permitan la captura y secuestro de CO<sub>2</sub>. Para efectuar estos análisis de previsiones futuras de las relaciones entre los distintos escenarios de políticas económicas, energéticas y de usos del suelo con su impacto económico y social, y finalmente con los cambios en las concentraciones atmosféricas de CO<sub>2</sub> y los incrementos anuales medios de temperatura usamos el modelo Felix (Steffen et al. 2007; Schellnhuber et al. 2009; Walsh et al. 2015). El modelo permite describir los flujos de recursos naturales en función de variables climáticas y económicas y caracterizar distintas predicciones futuras a nivel de cambios coordinados entre los sistemas naturales y económicos. El modelo ha sido calibrado a partir de los datos disponibles entre 1990-2015 e incluye los datos actuales de proyecciones de crecimiento de población del departamento de economía y asuntos sociales de la ONU y los datos históricos de las rentas per cápita y de su evolución como indicador de desarrollo econó-

mico (Maddison 2006). La demanda de energía per cápita se calcula en cada país en función de la renta per cápita (Rydzak et al. 2013). Las proyecciones futuras en los escenarios de aplicaciones lenta y rápida de las energías renovables son validados a partir de los estudios de la "Global Energy Assessment" (GEA 2012).

## Escenario BAU ("business as usual")

Siguiendo las tendencias de los últimos años, este escenario (Fig. 1) prevé un crecimiento de las energías renovables a un ritmo de 4.0% anual desde el 2013 al 2100 lo que conlleva una disminución del uso de carburantes fósiles desde el 90% del total en 2015 al 60% del total en 2100. En estas condiciones, el consumo mundial de carburantes fósiles iría creciendo hasta el 2060 para mantener la demanda energía de una economía global creciente. Por su parte, las emisiones ligadas a las energías renovables, básicamente las debidas a la recolección, transporte y procesamiento de las biomásas, se incrementaría de 0.1 Pg C por año en 2015 hasta 0.5-0.7 Pg C por año en 2100. Las emisiones ligadas a diferentes actividades ligadas al uso del suelo - incluyendo la deforestación y la repoblación a escala mundial - tenderían a bajar, situándose en 0.4-1.3 Pg C por año en 2100. En conjunto, este escenario sitúa el pico máximo de emisiones totales de CO<sub>2</sub> en unos 13.5-15.6 Pg C por año alrededor de 2054, para luego descender modestamente en la segunda parte del siglo. Así, durante todo el siglo 21 las emisiones de CO<sub>2</sub> ligadas a las actividades humanas aumentarían respecto a las de todo el siglo 20 en un 225-246%, dando lugar a una concentración atmosférica de 684-743 ppm en 2100, y a un incremento de temperatura de 3.1-3.3 °C en 2100 respecto a la época preindustrial.

## Escenario CF (combustible fósil)

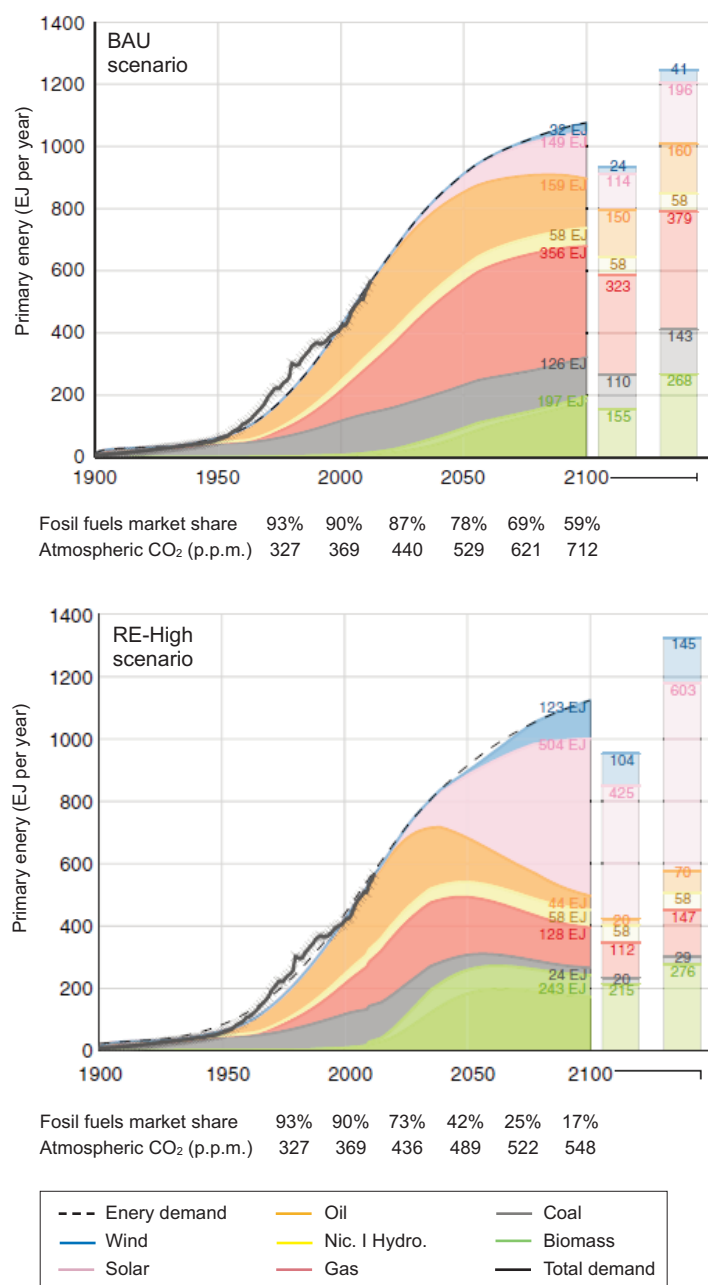
En este escenario se pronostica un aumento de al menos 2.5 veces respecto al actual, mientras las energías renovables solo crecen a un ritmo del 2.2% anual desde 2013 hasta el 2100. El porcentaje de energía proveniente de carburantes fósiles representaría un 90% del total a lo largo del presente siglo y el pico máximo de emisiones no se alcanzaría hasta finales de siglo llegando a unos 16.0-20.0 Pg de Carbono por año. Las emisiones a lo largo del presente siglo serían de 1435-1642 Pg C, un 250-300% mayores que las del siglo pasado, alcanzado la atmosfera a finales de siglo unos 749-823 ppm de CO<sub>2</sub>, con un incremento de temperatura de 3.4-3.6 °C en 2100 respecto a la época preindustrial.

## Escenario ER-L (energía renovable-lenta)

Este escenario pronostica que las emisiones serían aun al menos 2 veces mayores que la capacidad de la tierra de actuar como sumidero durante este siglo. Las energías renovables crecerían a un ritmo de 4.4% desde 2015 a 2100, lo que permitiría que a finales de siglo el uso de las energías fósiles supusiera menos de la mitad de la producción energética a escala global. Las emisiones provenientes de combustibles fósiles alcanzarían su máximo en 2050, con una emisión de 11.1-12.8 Pg C anual, pero decrecería más rápido que en los anteriores escenarios hasta los 8.3-10.7 Pg C anuales en 2100. En este escenario de mayor concienciación ambiental, unas mejores políticas de gestión harían decrecer las emisiones provenientes del uso del suelo hasta 0.1-0.3 Pg C por año en 2100. Todo ello nos llevaría a una concentración atmosférica de CO<sub>2</sub> de 633-686 ppm en 2100 y un aumento de temperatura de 2.9-3.1 °C en 2100 respecto a la época preindustrial.

## Escenario ER-R (energía renovable-rápida)

En este escenario (Fig. 1) habría una acelerada, pero posible y realista, transición hacia las energías renovables del 5% anual. Las emisiones totales durante este siglo aun supondrían un 50% más de lo que el sistema puede absorber, pero significa un gran acercamiento a los objetivos del COP. Las emisiones fósiles alcanzarían



**Figura 1.** Evolución temporal del consumo de energía global en los escenarios de "business as usual" y de aumento rápido del uso de energías renovables. Basado en Walsh et al. 2017.

**Figure 1.** Use of global energy in the scenarios of "business as usual" and "fast increase of use of renewable energies". Based on Walsh et al. 2017.

su máximo en 2022. La disminución de la deforestación conllevaría unas emisiones de 0.2-0.4 Pg C anuales en 2100, ligeramente mayores que en el escenario de ER-L debido a la mayor actividad del sector energético de producción de energía eléctrica por combustión de biomasa. Todo ello nos llevaría a una concentración en la atmósfera de 532-563 ppm de CO<sub>2</sub> y a un aumento de temperatura de 2.5-2.6 °C en 2100 respecto a la época preindustrial.

## CCS (captura y secuestro de carbono)

Sí a los escenarios de RE le añadimos técnicas de captura y secuestro de carbono (CCS por sus siglas en inglés) se podría aun mitigar más el balance de carbono para alcanzar los objetivos del COP. En el caso más favorable, aplicando al escenario RE-R y aplicando la tecnología necesaria para absorber un 80% de las emisiones de CO<sub>2</sub> de todas las plantas de generación de energía a escala global nos situaríamos al final de siglo en unos niveles de concentración de CO<sub>2</sub> atmosférico de entre 328-363 ppm.

Esto comportaría la eliminación anual de 11.2 Pg C al año de la atmósfera hacia los sumideros del planeta con un incremento de temperatura de 1.2-1.4 °C a finales de siglo respecto a la época preindustrial (por debajo del objetivo del COP) y con un progresivo retorno a las concentraciones de CO<sub>2</sub> atmosférico y temperaturas de pre-industriales.

La convención de París sufre de una gran inconcreción en muchos aspectos tales como la inclusión de los sumideros de carbono, en el sentido de si estos van a ser modificados o no por la acción humana, o los efectos indirectos del cambio climático que acaban afectando al propio cambio climático (IPCC 2014), como por ejemplo el efecto del calentamiento de los suelos polares que, al descongelarse, aumentan la actividad biológica y aceleran la emisión de CO<sub>2</sub>. El presente estudio concreta diversos escenarios posibles teniendo en cuenta todas las variables y ofreciendo información concreta (incluyendo el margen de error) de hacia dónde vamos bajo diferentes escenarios, pero por falta de información no puede predecir con exactitud ciertas variables como la capacidad futura de mitigar las emisiones provenientes de los cultivos o de los cambios futuros en los usos del suelo (Herrero et al. 2016; Obersteiner et al. 2016). La rápida implementación de las energías renovables unida a un gran aumento de los procesos de captura y secuestro de carbono en las plantas productoras de energía aparece como la única posibilidad de alcanzar los objetivos de París contando con los instrumentos tecnológicos actuales y con un margen de mejora tecnológica de los mismos de acuerdo con el nivel de avance observado hasta el presente.

## Referencias

- GEA 2012. *Global Energy Assessment - Toward a Sustainable Future*, Cambridge University Press, Cambridge, UK and New York, NY, USA and the International Institute for Applied Systems Analysis (IIASA) Laxenburg, Austria. Disponible en: <http://www.iiasa.ac.at/web/home/research/Flagship-Projects/Global-Energy-Assessment/GEA-Summary-web.pdf>
- Herrero, M., Henderson, B., Havlík, P., Thornton, P.K., Conant, R.T., Smith, P., et al. 2016. Greenhouse gas mitigation potentials in the livestock sector. *Nature Climate Change* 6, 452-461. Doi:10.1038/nclimate2925
- IPCC 2014. *Climate Change 2014: Mitigation of Climate Change. Contribution of Working Group III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Edenhofer, O., Pichs-Madruga, R., Sokona, Y., Farahani, E., Kadner, S., Seyboth, K., Adler, A., Baum, I., Brunner, S., Eickemeier, P., Kriemann, B., Savolainen, J., Schlömer, S., von Stechow, C., Zwickel, T., Minx J.C. (eds). Cambridge University Press, Cambridge, Reino Unido y New York, NY, Estados Unidos. Disponible en: [https://www.ipcc.ch/pdf/assessmentreport/ar5/wg3/ipcc\\_wg3\\_ar5\\_frontmatter.pdf](https://www.ipcc.ch/pdf/assessmentreport/ar5/wg3/ipcc_wg3_ar5_frontmatter.pdf)
- Maddison, A. 2006. *Historical Statistics of the World Economy, 1-2006* AD Groningen Growth and Development Centre, University of Groningen, Países Bajos.
- Obersteiner, M., Walsh, B., Frank, S., Havlik, P., Cantele, M., Liu, J., et al. 2016. Assessing the land resource-food price nexus of the sustainable development goals. *Science Advances* 2(9): e1501499-e1501499
- Rydzak, F., Obersteiner, M., Kraxner, F., Fritz, S., McCallum, I. 2013. *Felix3-impact assessment model*. Technical Report 9-106. International Institute for Applied Systems Analysis (IIASA) Laxenburg, Austria.
- Schellnhuber, H.J. 2009. Tipping elements in the earth system. *Proceedings of the National Academy of Sciences of USA* 106, 20561-20563. Doi: 10.1073/pnas.0911106106.
- Steffen, W., Crutzen, P.J., McNeill, J.R. 2007. The anthropocene: are humans now overwhelming the great forces of nature. *Ambio* 36, 614-621.
- UNFCCC. Conference of the Parties (COP) 2015. *Adoption of the Paris Agreement. Proposal by the President*. [FCCC/CP/2015/L.9/Rev.1]. United Nations Office at Geneva. Geneva, Suiza. Disponible en: <http://unfccc.int/resource/docs/2015/cop21/eng/l09r01.pdf>
- Walsh, B.J., Rydzak, F., Palazzo, A., Kraxner, F., Herrero, M., Schenk, P.M. et al. 2015. New feed sources key to ambitious climate targets. *Carbon Balance and Management* 10:26. doi: 10.1186/s13021-015-0040-7.
- Walsh, B., Ciais, p., Janssens, I.A., Peñuelas, J., Riahi, K., Rydzak, F., van Vuuren, D., Obersteiner, M. 2017. Pathways for balancing CO<sub>2</sub> emissions and sinks. *Nature Communications* 8:14856. doi: 10.1038/ncomms14856.