

CIUDADES INTELIGENTES: REQUERIMIENTOS, DESAFÍOS Y ALGUNAS CLAVES PARA SU DISEÑO Y TRANSFORMACIÓN

Luis Irastorza Ruigómez

Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos. Directivo empresarial

RESUMEN

El artículo describe cuáles son los requerimientos para que una ciudad pueda ser considerada como “inteligente”, para lo que es necesario que aborde de una forma holística y eficiente los grandes desafíos que tienen las ciudades y que lo haga utilizando las técnicas más avanzadas disponibles en cada momento. También describe los cuatro retos a los que deberán enfrentarse las ciudades en el futuro, que son el aumento de competencia entre ellas derivado de la globalización, el incremento de la tensión social por la creciente concentración de la riqueza, los desafíos derivados del cambio climático y la necesidad de acrecentar la resiliencia frente a fallos tecnológicos o bien producidos por fenómenos extremos de origen climático. Por último, describe cuáles deben ser las estrategias de las ciudades para hacer frente a los desafíos derivados del calentamiento global.

1. INTRODUCCIÓN Y CONSIDERACIONES INICIALES

Desde un tiempo a esta parte, el término de “Smart city”, últimamente frecuentemente traducido al castellano como “ciudad inteligente”, se viene utilizando de una manera sistemática para englobar una serie de conceptos y de ideas, no siempre coincidentes entre los que usan dicho vocablo.

Requerimientos de las ciudades inteligentes

De una forma general, creo que podemos afirmar que cuando la mayor parte de los usuarios utilizan el vocablo “Smart city” o “ciudad inteligente” se refieren a la utilización de técnicas avanzadas para resolver los problemas de la gestión de la ciudad, ya sea en sus servicios como en el tratamiento de la información que continuamente genera. Un caso paradigmático podría ser el sistema de gestión del transporte público, en que a partir de la información suministrada por la posición de cada uno de sus elementos -ya sea autobús, metro o cercanías-, dicha información se utiliza para optimizar su explotación así como para proporcionar al usuario una información muy útil, como es el tiempo de espera estimado para la llegada del próximo autobús o tren. Otros ejemplos de tratamiento optimizado de la información podrían ser la gestión de los semáforos, la información sobre la calidad del aire -que prevé la concentración de contaminantes, como los NO_x o el ozono, a partir de la previsión de las emisiones de los mismos así como de las previsiones climáticas-, la gestión de los residuos, la gestión de la distribución del agua y otros muchos servicios como el seguimiento de la delincuencia a partir de sistemas de información geográfica.

Pero, en mi opinión, no podemos calificar a una ciudad como “inteligente” únicamente si hace una utilización masiva y eficiente de las tecnologías disponibles para su gestión, sino que para que pueda ser considerada como tal es necesario que dichas tecnologías hagan frente de forma eficiente a los desafíos que dicha ciudad tiene. Hasta hace unos años, dichos desafíos eran, entre otros, los relacionados con el suministro y evacuación del agua, la calidad del aire, la movilidad, la seguridad o bien determinados aspectos sociológicos, pero en los últimos años debemos añadir los derivados del calentamiento global, que emerge como uno de los grandes desafíos de la humanidad. Por tanto, es

claro que no podremos de ninguna manera denominar a una ciudad como “inteligente” si no pretende hacer frente con las mejores tecnologías disponibles y de la forma más eficiente posible a los retos que el propio desarrollo le impone a la ciudad, entre los cuales emerge con fuerza el cambio climático.

Intereses económicos vs opiniones altruistas

Un aspecto al que es necesario prestar atención es que vivimos en un mundo donde existen poderosos grupos económicos, que, de una forma legítima -pero también utilizando la potente plataforma que les da, en muchas ocasiones, una importante capacidad financiera- utilizan su capacidad de influencia para propagar sus ideas, que no son sino sus intereses. En un mundo complejo como en el que vivimos, se pueden sostener ideas muy dispares a partir de la utilización de postulados razonables y razonamientos coherentes, aunque es claro que las conclusiones a las que se llega tienen mucha mayor validez cuando postulados y razonamientos no están completamente condicionados por los intereses que se pretenden salvaguardar.

Lo anteriormente descrito ha venido ocurriendo a lo largo de los últimos años cuando poderosos grupos con grandes intereses en la negación del calentamiento global han puesto el acento en la incertidumbre del conocimiento y en la incapacidad de predicción de los modelos climáticos -hasta hace unos diez años, la mayor parte de ellos requerían de determinadas correcciones de flujos de energía en la interfase atmósfera/océano, lo que ahora no es necesario para la mayoría de ellos-. Por otra parte, en estos momentos existen asimismo importantes grupos económicos con grandes intereses en la existencia del calentamiento global -por ejemplo todas aquellas empresas que han invertido grandes cantidades en el desarrollo de las energías alternativas-, con grandes intereses en que los gobiernos adquieran compromisos de reducción de emisiones, lo que les pondría en una situación de clara ventaja competitiva sobre otros grupos que han invertido menos en negocios que resultarían beneficiados por el cambio climático.

Es importante tener lo anterior muy presente cuando una persona o bien una institución quiere posicionarse frente a la importante cuestión del calentamiento global, dado que, en estos momentos, es un debate dominado por importantes intereses económicos, tanto entre sus detractores como entre sus defensores. Incluso la posición adoptada por varios países podría tener una cierta componente de interés económico, absolutamente legítimo por otra parte. Por ejemplo, el liderazgo internacional de Europa en la adopción de un acuerdo internacional que sustituya a Kyoto y que comprometa a todos los países del mundo -liderazgo que alguien tiene que asumir y del que, por otra parte, personalmente me siento muy orgulloso y con el que tengo una gran sintonía personal-, es claro que tiene un determinado componente de interés -por otra parte, totalmente legítimo- en adquirir una posición de liderazgo tecnológico para sus industrias, que podrían crear un desarrollo tecnológico más tarde exportable al resto de países del mundo, tal y como hemos estado viendo estos últimos años con la tecnología de generación eólica.

La única manera de poder alcanzar una opinión fundada y al margen de los intereses económicos es, como en la mayor parte de las áreas de conocimiento, la de acudir y analizar directamente a las fuentes originales, que no son otras que los imponentes informes del Panel Intergubernamental del Cambio Climático (IPCC) de la ONU así como a publicaciones científicas de primer nivel como son el “*Nature*” y el “*Science*”. Asimismo los informes de la Agencia Internacional de Energía (el “*World Energy Outlook*”, de periodicidad anual, y el “*Energy Technology Perspectives*”, de periodicidad bianual), los informes anuales de la “*Energy Information Administration*” del Departamento de Energía de EE.UU. o bien los rigurosos documentos del “*Energy Research Center*” del Reino Unido, entre otras, son publicaciones con información rigurosa y contrastada y que puede permitir al lector el crear una opinión propia sobre este complejo asunto.

También podría aducirse que las fuentes originales no están libres de intereses; por ejemplo, algunos investigadores han denunciado grandes dificultades en la asignación de fondos de

investigación para llevar a cabo trabajos cuyas conclusiones pudieran poner en duda el pensamiento dominante de la comunidad científica, mayoritariamente favorable a la existencia del cambio climático. A pesar de todo, es indudable que los intereses de los científicos en sostener una determinada tesis -por ejemplo, que la causalidad del calentamiento global es debida, en su mayor parte, a la actividad del hombre- deben tener un mayor fundamento que la mera defensa de los intereses de un determinado grupo económico, como podría ser el sector del petróleo, el nuclear o el de las energías renovables. En todo caso, probablemente el mayor desafío de la ciencia del clima desde hace más de 20 años es la explicación del hiato de temperatura desde 1.998, que describiremos más adelante.

Aspectos de las ciudades

La evolución de una ciudad tiene varios aspectos muy diferenciados unos de otros, que requieren aproximaciones también muy diferentes en su metodología. Dichos aspectos son:

- Sociológicos y políticos
- Económicos
- Formales
- Tecnológicos
- Medioambientales
- Resiliencia

No es posible realizar un análisis de todos estos aspectos de una forma simultánea, requiriendo cada uno de ellos una aproximación específica. Por otra parte, existe una profunda relación entre unos aspectos y otros, incluso los formales, al estar el urbanismo y la arquitectura muy condicionados por la ideología política dominante, como es fácil darse cuenta cuando uno analiza, por ejemplo, el urbanismo y la tipología de los edificios realizados cuando el poder es ostentado por regímenes totalitarios.

En mi opinión, una “ciudad inteligente” debe responder de una forma holística y eficiente al conjunto de cuestiones y retos suscitados por cada uno de los aspectos antes descritos, y todo ello de una forma eficiente y equilibrada.

Por último, un aspecto de gran relevancia a la hora de abordar cualquier análisis sobre las ciudades es la constatación de que la evolución de las ciudades depende de su evolución demográfica -que, a su vez, depende del saldo vegetativo y del saldo migratorio- y del crecimiento económico. Por el momento, podemos clasificar el mundo -y, por tanto, también sus ciudades- entre los países industrializados -que podemos identificar con los 34 países de la OCDE, Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico- y los países en vías de desarrollo; dentro de estos últimos se podrían segregar, a su vez, los emergentes, que son aquéllos que están en un proceso de transformación acelerada y que muchas veces identificamos con los países BRICS (Brasil, Rusia, India, China y Sudáfrica), aunque también podríamos incluir en dicho grupo a varios países del Sudeste Asiático como Tailandia y Malasia.

En general, los países industrializados tienen una demografía bastante estabilizada, lo que, teniendo en cuenta el progresivo incremento de la esperanza de vida -por ejemplo, en España dicha esperanza, para las personas que alcanzan los 65 años y en el momento de cumplirlos, ha pasado de los 19,3 años en el año 2.005 a los 21,2 años en 2.014, según la publicación del INE “*Movimiento Natural de la Población*”, de junio de 2015-, está dando lugar a sociedades cada vez más envejecidas, con todos los problemas que de ello se derivan: sostenimiento del sistema de pensiones, menor innovación y menor crecimiento de la productividad, lo que tiene como consecuencia un menor crecimiento económico en el futuro. En cuanto a las ciudades, en general, su población está bastante estabilizada, al haberse completado, en casi todos los casos, la migración del campo a la ciudad, en la que viven entre el 75% y el 80% de la población total; aunque, en todo caso, todavía existe en la mayor parte de los países industrializados una ligera tendencia al alza en el peso de la población urbana con respecto a la

población total. Por tanto, en estos casos, hay que actuar en la renovación de la ciudad consolidada -de áreas o barrios que han quedado obsoletos o cuyos usos no se adaptan a las necesidades actuales- o bien mediante la rehabilitación de edificios para adecuarlos a los nuevos usos requeridos o bien a las nuevas regulaciones, con exigencias cada vez más estrictas.

Por otra parte, en los países en vías de desarrollo el crecimiento económico es bastante mayor y hay varios países -India y la mayor parte de los países de África- donde todavía no se ha producido una ralentización importante de la natalidad, por lo que su crecimiento demográfico es exponencial. Por ejemplo, según el último informe de previsión de población de la ONU (*“World Population Prospects”*, de 2.011), en su escenario central, está previsto que la población en África crezca desde los 1.022 millones de personas en el año 2.010 hasta los 2.152 millones en el año 2.050 (+110% sobre 2.010 frente a un crecimiento de la población mundial de un 35%) y hasta los 3.574 millones en el año 2.100 (+250% sobre 2.010 mientras la población mundial crecería un 47%). Sin embargo, otros países como China han completado la ralentización de su natalidad hasta niveles por debajo de la de muchos de los países industrializados. En todo caso, en todos los países en vías de desarrollo -ya sean emergentes o no- todavía no se ha completado la migración del campo a la ciudad, lo que produce oportunidades de aplicar las nuevas ideas sobre las ciudades de una forma más sencilla que en los países donde las ciudades están prácticamente consolidadas.

2. LOS DESAFÍOS DE LAS CIUDADES DEL SIGLO XXI

Los grandes desafíos a los que se enfrentan las ciudades y que, por tanto, deberán abordar de una forma eficiente en el futuro nuestras “ciudades inteligentes” son los siguientes:

- La competencia entre ciudades
- El aumento de la tensión social dentro de las ciudades como consecuencia de la progresiva concentración de la riqueza
- Los desafíos derivados del calentamiento global
- La necesidad de resiliencia como consecuencia de la fragilidad derivada de la creciente complejidad tecnológica así como de la mayor frecuencia de fenómenos extremos

2.1. La competencia entre ciudades

Una causa muy importante de los cambios a los que están sometidas nuestras ciudades proviene de la gran diferencia de la tasa de crecimiento de los países desarrollados y la de los países en vías de desarrollo. Mientras que en 1.990 los primeros representaban el 80% del PIB mundial a precios de mercado (no confundir con los datos de paridad del poder de compra, frecuentemente utilizados en muchas publicaciones), en la segunda parte de esta década -es decir, entre los años 2.015 y 2.020- el peso de los países en vías de desarrollo va a representar más del 50% del mismo (The Economist, 6 de Agosto de 2.011). Esta convergencia proviene de una tasa de crecimiento anual casi del 5% superior para los países en vías de desarrollo con respecto a los desarrollados entre 2.004 y 2.011; mientras aquéllos crecieron al 6,8% en dicho periodo, éstos lo hicieron únicamente al 1,6% (World Economic Outlook, Fondo Monetario Internacional, Abril de 2012). Este diferencial tan grande, que ha provocado cambios muy profundos en la estructura económica mundial, ha disminuido en los últimos años e irá poco a poco reduciéndose a medida que los países en vías de desarrollo vayan alcanzando determinados estándares de vida (según el World Economic Outlook Projections del FMI, publicado el 9 de julio de 2.015, las economías avanzadas han crecido en un 1,8% en 2.014, siendo las previsiones para 2.015 y 2.016 de un 2,1% y de un 2,4%, respectivamente; por otra parte, el crecimiento de las economías en vías de desarrollo ha sido de un 4,6% en 2.014, siendo su previsión de crecimiento de un 4,2% en 2015 y de un 4,7% en 2.016).

Este crecimiento acelerado ha producido unas grandes tensiones sobre los mercados de materias primas -alimentarias, metales y energía- así como un desplazamiento de sectores y servicios hacia determinados países emergentes.

La transferencia de sectores y de servicios entre países ha sido facilitada por el enorme grado de movilidad del capital, cada vez concentrado en menos manos, que buscan oportunidades de rentabilizarlo en cualquier lugar del mundo. No hay más que observar la rapidez con que los fondos de inversión acudieron a España para invertir ingentes cantidades de dinero -fundamentalmente, pero no únicamente- en el sector inmobiliario. La movilidad de estos fondos es muy grande y puede causar fuertes desequilibrios en los países a los que acuden o de los que salen.

Hasta hace pocos años, la evolución de las ciudades era bastante continua, aunque algunas crecieran con mayor rapidez que otras. En un mundo global, las ciudades están obligadas a buscar su nicho y a reinventarse de forma continua. Las comunicaciones así como tener una economía bastante diversificada son elementos imprescindibles para poder competir en este mundo global. La dependencia de un único sector económico produce a la ciudad una gran fragilidad, como lo demuestra el caso de Detroit, con una importante pérdida de población cuando perdió peso el sector de la automoción en la misma. Es claro que cada ciudad debe buscar su posición en un mundo cada vez más global, que debe estar basada en sus fortalezas relativas sobre otras de su entorno. De lo anterior se deduce que las ciudades de tamaño medio, cuya economía está basada en un sólo sector presentan una gran fragilidad, debiendo concentrar los poderes públicos la atención en disminuir dicha dependencia.

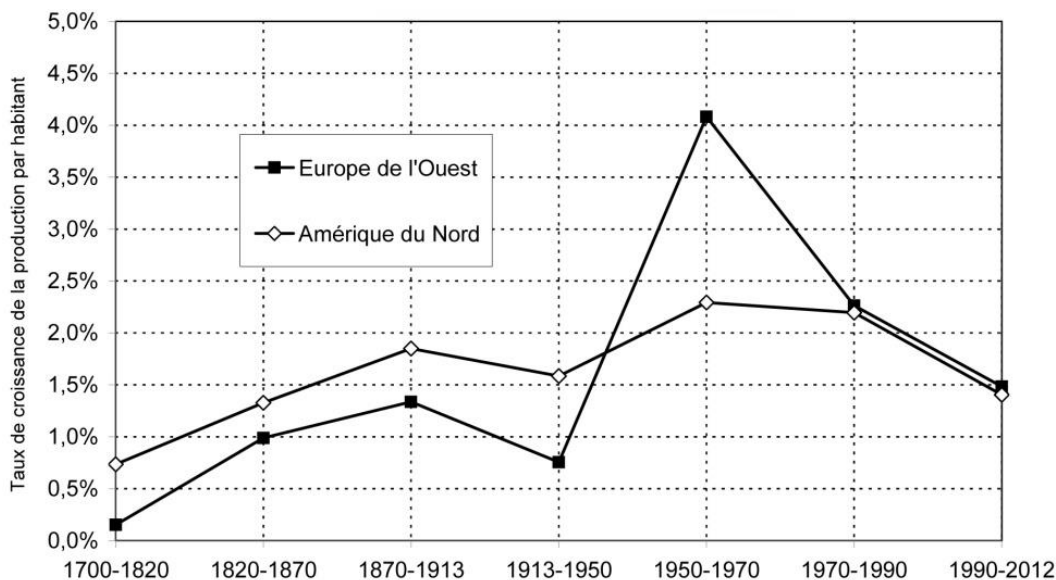
2.2. El aumento de la tensión social derivada de la concentración de la riqueza

En mi opinión, el libro de Thomas Piketty titulado “El capital del siglo XXI”, aparecido en 2.013, es uno de los libros de pensamiento económico más importantes que se han publicado en los últimos años por su rigor, el alcance de sus investigaciones y la consistencia de sus conclusiones.

Piketty es un librepensador y no está adscrito a ningún partido político ni a ningún grupo de presión con intereses económicos, algo de gran relevancia a la hora de evaluar los resultados de su investigación, como hemos explicado con anterioridad en este artículo. También conviene mencionar que rechazó la Legión de Honor concedida por el Gobierno de Francia en Diciembre de 2.014 por su interés en poder mantener la libertad de pensamiento.

El libro está basado en 15 años de investigaciones (1.998-2.013) consagrados a la dinámica histórica de los ingresos y la riqueza, utilizando fundamentalmente las fuentes estadísticas de Francia, Reino Unido, Estados Unidos, Alemania y Japón, desde el momento en que se consideran consistentes y solventes. Para el caso de Francia y Reino Unido, existen múltiples estimaciones del patrimonio nacional y de su estructura desde principios del siglo XVIII. También se emplean fuentes estadísticas de otros países desde épocas más recientes, como Canadá, Italia, España, Portugal, Suecia e incluso de varios que no pertenecen a la OCDE como Argentina y China.

Tasa de crecimiento por habitante desde la revolución industrial en Europa y EE.UU.



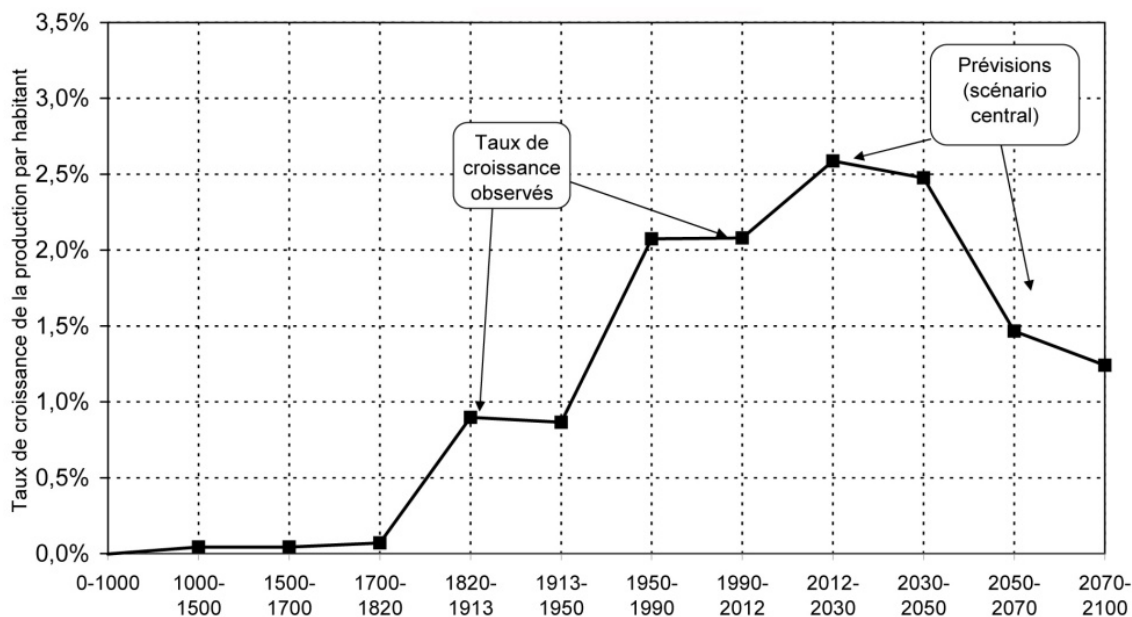
Fuente: El Capital en el siglo XXI, Thomas Piketty, 2013

Consideraciones iniciales

Las ideas más relevantes de Piketty a la hora de realizar su análisis son las siguientes:

- La economía es una subdisciplina de las ciencias sociales, como lo son, entre otras, la historia, la sociología, la antropología o las ciencias políticas.
- A lo largo de los últimos años, la economía ha caído en una ilusión científicista mediante la utilización de métodos matemáticos para demostrar la existencia de una causalidad pura y ha olvidado que la experiencia histórica y su análisis es su principal fuente de conocimiento. En todo caso, siempre es difícil establecer las causalidades históricas, no siendo en general plenamente posible.
- La vida política y las ideas tienen un cierto grado de autonomía respecto de los cambios económicos y sociales, en el sentido de que éstos no determinan aquéllos en su totalidad. No podemos decir que las ideas de la Revolución Francesa, la abolición de la esclavitud o bien la generalización de los derechos humanos sean una consecuencia directa de la evolución económica y social de los entornos donde surgieron estas ideas que tanta influencia tuvieron sobre la historia y sobre la economía.
- Los investigadores en ciencias sociales de todas las disciplinas, los periodistas y los comentaristas de cualquier medio, los militantes sindicales y políticos de todas las tendencias y, en general, todos los ciudadanos, deberían interesarse seriamente por el dinero, su comportamiento, los hechos y las evoluciones que lo rodean. Quienes tienen mucho nunca se olvidan de defender sus intereses. Negarse a usar cifras rara vez favorece a los más pobres, aún a sabiendas que la representación de la realidad mediante cifras no es sino parcial y forzosamente limitada.

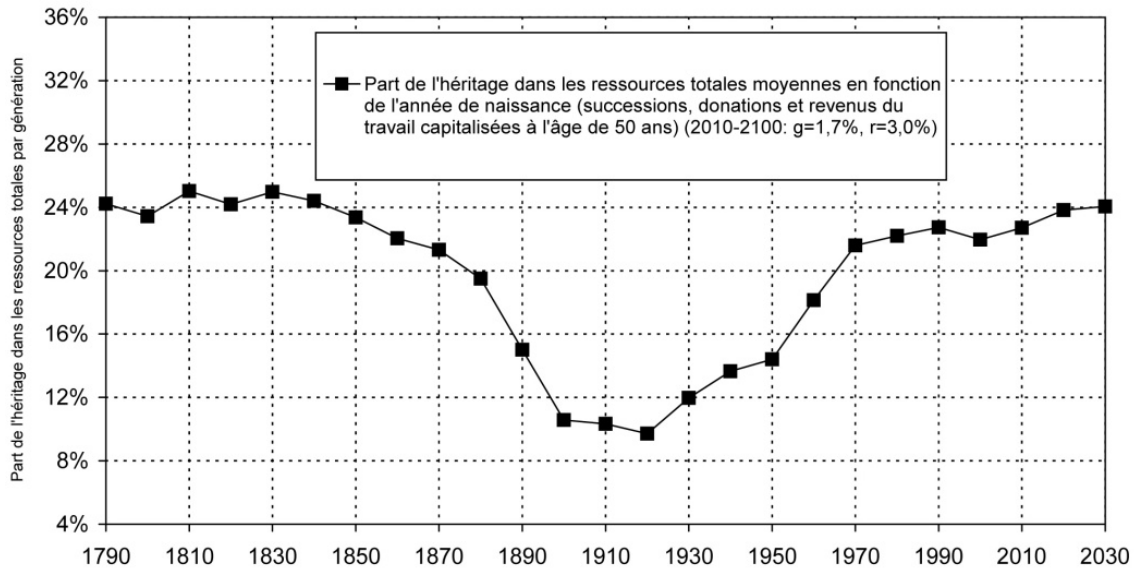
Tasa de crecimiento de la producción mundial por habitante desde la antigüedad hasta 2100



Fuente: El Capital en el siglo XXI, Thomas Piketty, 2013

En el análisis que lleva a cabo Piketty debemos distinguir dos periodos diferentes: 1) Lo ocurrido hasta el presente, de lo cual únicamente podemos discutir la solvencia y precisión de las fuentes estadísticas utilizadas, y 2) Una previsión de la evolución de la distribución de la riqueza para el siglo XXI, para lo que emplea, a su vez, dos hipótesis que, en mi opinión, son correctas, pero que en todo caso el futuro confirmará o contradirá, y que son: a) La población mundial va a tender a estabilizarse a lo largo del siglo XXI desde las tasas actuales del 1,3% anual entre 1.990 y 2.012 hasta tasas próximas a cero para finales de este siglo, y b) El crecimiento económico per cápita va a disminuir desde tasas algo superiores al 2% anual desde 1.950 a 2.012 para pasar a tasas algo superiores al 1% para finales de este siglo; si integramos población y crecimiento per cápita, esto supone pasar de tasas de crecimiento de la economía entre el 3,5% y el 4% entre 1.950 y 2.012 a tasas del orden del 1,5% una vez eliminada la brecha de la mayor parte de los países en vías de desarrollo con respecto a los países industrializados así como una vez conseguida la estabilización de la población mundial (según el escenario central del Informe “*World Population Prospects*”, de 2011 y publicado por la ONU, dicha población mundial alcanzará los 10.125 millones en el año 2.100 -se alcanzaron los 7.000 millones el 31 de Octubre de 2.011-, estando prácticamente estabilizada en dicho momento).

Participación de la herencia en los recursos totales (herencia y trabajo) 1790-2030

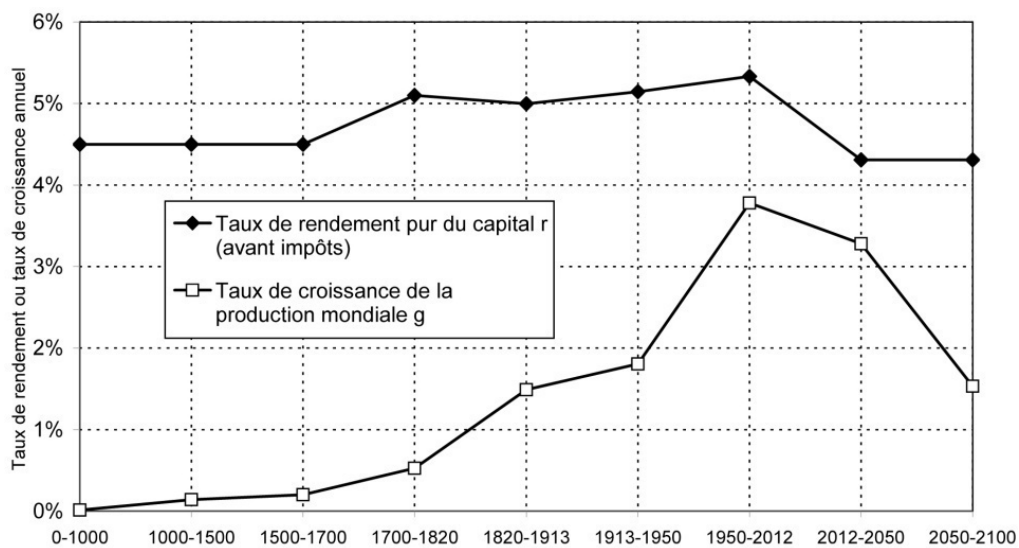


Fuente: El Capital en el siglo XXI, Thomas Piketty, 2013

Conclusiones

Piketty llega a la conclusión de que, en los últimos años, en los países industrializados se está produciendo una progresiva y acelerada concentración de la riqueza en manos de un número cada vez más pequeño de individuos de forma contraria a lo ocurrido entre 1.930 y 1.980, en que la aparición de economías muy socializadas consiguieron un reparto más igualitario de la riqueza que el que había existido hasta entonces. Dicho fenómeno de concentración de riqueza aparece a partir de 1.970 en Estados Unidos y en Reino Unido y a partir de 1.980 y con menor intensidad en Alemania, Suecia y, todavía en menor medida pero de una forma ya perceptible, también en Francia.

Rendimiento del capital antes de impuestos y tasa de crecimiento a nivel mundial desde la antigüedad hasta 2100



Fuente: El Capital en el siglo XXI, Thomas Piketty, 2013

Es claro que existen en la economía fuerzas de convergencia importantes, relacionadas sobre todo con la difusión del conocimiento y la transferencia de tecnología. Pero la principal fuerza desestabilizadora se vincula con el hecho de que la tasa de rendimiento privado del capital r puede ser significativa y duraderamente más alta que la tasa de crecimiento del ingreso y la producción g . Esta progresiva concentración de la riqueza puede producir grandes tensiones sociales, de la misma forma que se produjeron a principios del siglo XX. Las ideologías que aparecieron en el siglo pasado para hacer frente a esta desigualdad -comunismo, anarquismo y regímenes totalitarios- fracasaron estrepitosamente al no ser capaces de incentivar el crecimiento económico, creando, en muchas ocasiones, élites corruptas que concentraron poder y riqueza, poniendo fuertes límites a la libertad de las personas y creando una enorme cantidad de violencia y sufrimiento. Piketty propone como solución la creación de un impuesto progresivo sobre el capital, lo que exigiría un muy alto grado de cooperación internacional y de integración política regional, algo muy difícil de conseguir y que requerirá un largo camino así como el refuerzo de las competencias y del poder de las instituciones internacionales en detrimento de la soberanía de los Estados nacionales.

2.3. Los desafíos derivados del calentamiento global

Los efectos negativos del calentamiento global se pueden considerar, sin duda, como uno de los desafíos o riesgos potenciales más importantes que tiene la humanidad en su conjunto. Los otros tres grandes riesgos potenciales de la humanidad -cada uno ellos con unas consecuencias y con una probabilidad de ocurrir muy diferentes- son los siguientes: 1) La eliminación del hambre, algo al alcance del hombre en estos momentos; 2) El riesgo de eclosión de una pandemia como ocurrió con la peste negra, que redujo la población en Europa Occidental en alrededor de un 30% en el siglo XIV, o bien, en menor medida, la denominada gripe española, que mató a alrededor de 18 millones de personas a principios del siglo XX, alrededor del 1% de la población mundial entonces; y 3) El impacto de un asteroide contra la superficie de la Tierra, algo que, en el estado actual del conocimiento, sabemos que ha ocurrido varias veces a lo largo de la historia de nuestro planeta -la última hace unos 65 millones de años, produciendo la desaparición de alrededor del 90% de las especies, entre ellas los dinosaurios-, una auténtica discontinuidad en la evolución.

Síntesis del Informe del IPCC de 2.013/2.014

El Panel Internacional de Cambio Climático (IPCC por sus siglas en inglés), organismo dependiente de la ONU, ha publicado en los años 2.013 (Volumen I.- Los fundamentos de las ciencias físicas) y 2.014 (Volumen II.- Impactos, Vulnerabilidad y Adaptación y Volumen III.- Mitigación) el 5º Informe de Evaluación sobre el Calentamiento Global. Los cuatro Informes anteriores fueron publicados en 1.990, 1.995, 2001 y 2.007 por dicho organismo. Puede considerarse que este Informe de 2.013/2.014 recoge el estado del arte sobre el cambio climático en el momento de su publicación, al realizarse una recopilación completa de todas las aportaciones científicas relevantes hasta entonces. Cada uno de los tres Volúmenes consta de una evaluación completa, donde se recogen todas las referencias utilizadas -alrededor de 18.000-, de un Resumen Técnico -absolutamente indispensable para adquirir una idea propia del estado del arte- y de un Resumen para Decisores Políticos, con las principales conclusiones de cada uno de los tres volúmenes. Asimismo existe un Informe Síntesis Global conjunto de los tres Volúmenes.

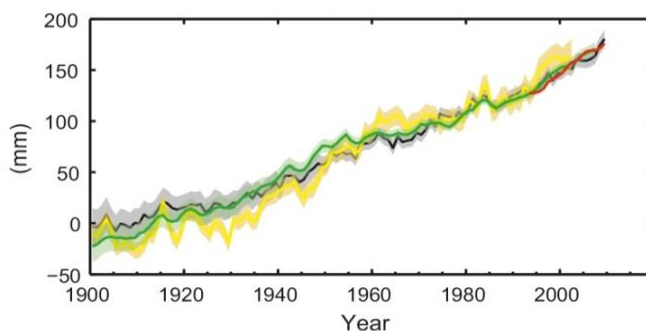
El 5º Informe de Evaluación del Cambio Climático concluye que existe una probabilidad superior al 95% de que más del 50% del calentamiento producido en la Tierra sea debida a causas antropogénicas. Dicha probabilidad fue estimada en más del 90% por el 4º Informe de Evaluación, publicado en 2.007.

Cuando analizamos el contenido del 5º Informe, es importante distinguir entre la descripción de lo ocurrido hasta ahora con las previsiones climáticas para el futuro. Lo ocurrido hasta ahora tiene una mayor incertidumbre a medida que nos alejamos en el tiempo y es claro que existe una mayor

certidumbre de la evolución hasta el presente del clima en el continente -algo más del 25% de la superficie terrestre- que en el océano -cerca de tres cuartas partes de la superficie terrestre-, así como en los países desarrollados frente a los países en vías de desarrollo, al existir en aquéllos registros climáticos fiables durante un periodo más largo de tiempo. En todo caso, unos registros excepcionales que nos permiten remontarnos al clima hasta hace casi un millón de años son los hielos de Groenlandia y la Antártida, de excepcional importancia para conocer la evolución del clima a nivel local desde entonces.

De los datos observacionales se concluye que la temperatura media en la superficie terrestre -que incluye continente y océano- ha aumentado en 0,85°C entre 1.880 y 2.012, o bien en 0,78°C si tomamos la diferencia de las medias entre los periodos 1.850/1.900 y 2.003/2.012, periodos que se utilizan para eliminar la variabilidad interanual del clima. También podemos afirmar que el océano ha absorbido más del 90% del total de incremento de energía del sistema climático, que el nivel del mar ha subido 19 centímetros desde 1.900 -está subiendo a un ritmo de 3,2 milímetros/año desde 1.993, es decir con mucha mayor rapidez que los 1,7 milímetros/año de media que ha venido subiendo desde 1.900 hasta hoy- y que se ha incrementado, fundamentalmente en los últimos años, la frecuencia de los fenómenos extremos en forma de ciclones, tifones, sequías, lluvias torrenciales y olas de calor.

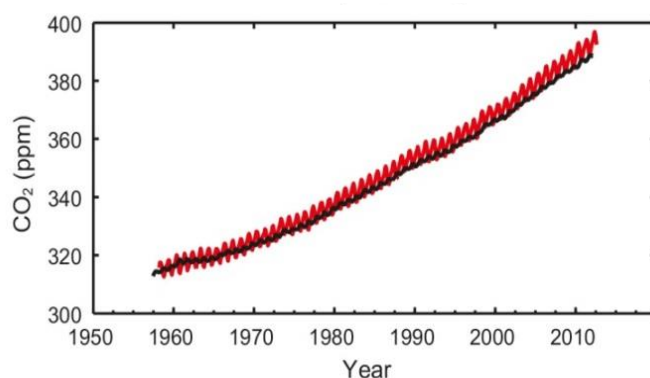
Variación media del nivel del mar



Fuente: IPCC/ WGI/AR5/2013

En cuanto al ciclo del carbono, las emisiones antropogénicas de CO₂ acumuladas entre 1.750 y 2.011 han sido de 555 GtC (1 Gt o Gigatonelada equivale a mil de millones de toneladas), de las que 375 GtC son debidas a la quema de combustibles fósiles y a la producción de cemento y 180 GtC a la deforestación y al cambio de uso de la tierra. De dichas 555 GtC emitidas, 240 GtC han permanecido en la atmósfera, 155 GtC en el océano -lo que ha producido una disminución de 0,1 en el pH de la capa superficial del mismo, con efectos relevantes en zonas de corales- y 160 GtC han sido absorbidos por los ecosistemas de la tierra -sumideros biológicos como plantas o bien materia orgánica en el terreno o en el océano-. Para pasar de toneladas de carbono (C) a toneladas de dióxido de carbono (CO₂), hay que tener en cuenta que 1 tC equivale a 3,667 t CO₂. (cociente entre el peso molecular del CO₂, que es de 44, y el del carbono, que es de 12); por tanto, las 555 GtC emitidas desde 1.750 equivalen a 2.035 Gt CO₂.

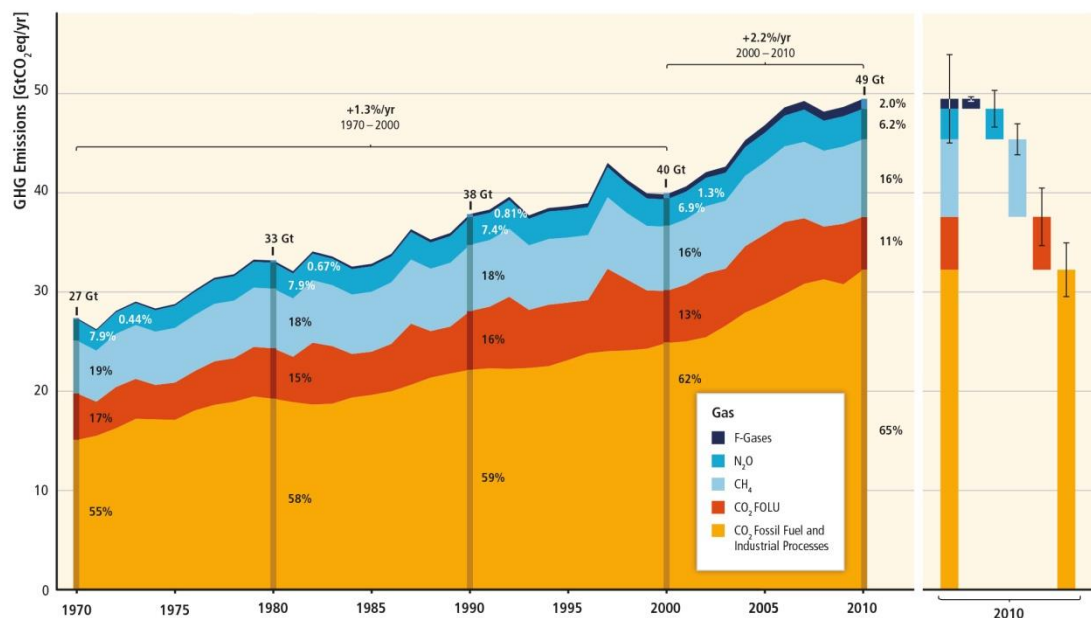
Evolución del CO₂ atmosférico



Fuente: IPCC/ WGI/AR5/2013

Como consecuencia de los 240 GtC en que se ha incrementado la cantidad de dióxido de carbono en la atmósfera, la cantidad de éste se ha incrementado desde las 600 GtC en 1.750 hasta 840 GtC en 2011, es decir en alrededor de un 40%. Si expresamos las cantidades anteriores en concentración de dióxido de carbono en partes por millón en volumen (ppmv o número de moléculas de dióxido de carbono por millón de moléculas de todos los gases que componen el aire), la concentración de CO₂ en la atmósfera ha pasado de 280 ppmv en 1.750 a 393 ppmv en 2.011, concentración que sigue creciendo a un ritmo aproximado de 2 ppmv al año, habiendo ya superado las 400 ppmv en 2.015.

Emisiones antropogénicas totales de gei por grupos de gases 1.979-2.010 (GtCO₂eq/año)



Fuente: IPCC/WGIII/AR5/2013

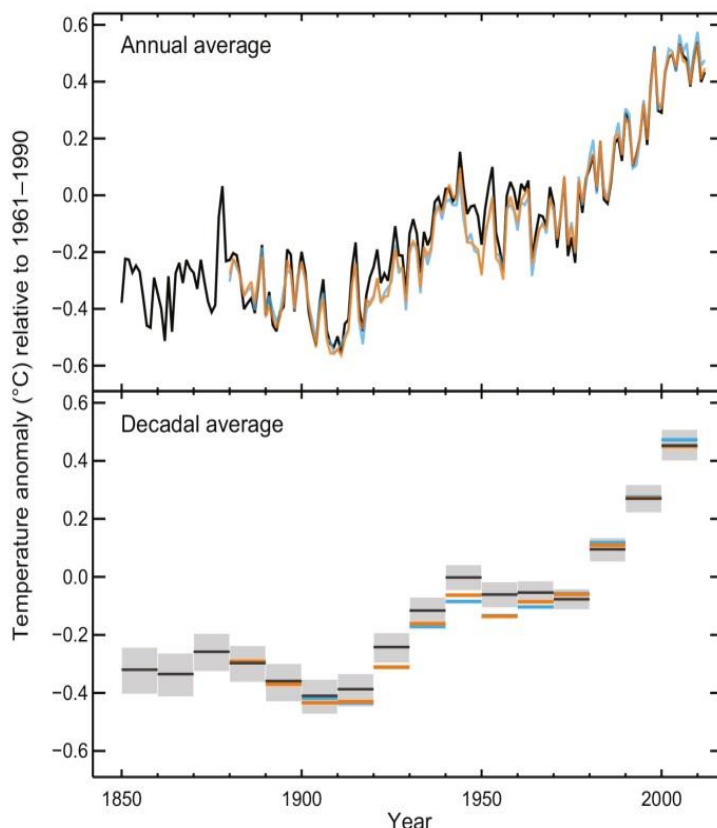
Para ayudarnos a comprender lo que las cifras anteriores significan, resulta útil resaltar que la concentración de dióxido de carbono en la atmósfera a lo largo del último millón de años ha permanecido siempre en el rango entre 180 y 290 ppmv, lo que sabemos con gran certidumbre a partir del análisis del aire ocluido en los hielos de Groenlandia y de la Antártida. En la actualidad, las emisiones totales de CO₂ equivalente (que incluyen los otros gases de efecto invernadero, como el N₂O o el CH₄, traducidos a la cantidad de CO₂ que tendría el mismo efecto sobre el clima en un

determinado periodo de tiempo, que suele tomarse por convención como 100 años) son de unas 14 GtC (unas 50 GtCO₂), que equivale al 2,3% del CO₂ que ha habido en la atmósfera en los últimos 10.000 años y hasta el año 1.750 (600 GtC) o bien al 1,7% del existente a fecha de hoy (840 GtC). Además, el ritmo de emisiones de gases de efecto invernadero expresado en CO₂ equivalente se ha acelerado en los últimos años, pasando de un incremento anual del 1,3% entre 1.970 y 2.000 a un 2,2% entre 2.000 y 2.012, claramente como consecuencia de la aceleración en el crecimiento de los países emergentes, en especial de China.

El hiato de temperatura a partir de 1.998 hasta hoy

Una cuestión de enorme relevancia que ha emergido con fuerza en los últimos años es el hiato de temperatura que se ha producido desde el año 1.998 hasta hoy, algo no del todo comprendido ni que se pueda explicar con claridad en estos momentos. En concreto, en los registros anuales de temperaturas medias en la totalidad de la superficie terrestre -es decir, tanto en el continente como en el océano-, en el periodo 1.998 a 2.012 el ritmo de incremento de temperatura ha sido de 0,05°C/década mientras que en el periodo más largo entre 1.951 a 2.012 -que incluye el periodo de 1.998 a 2.012- dicho ritmo ha sido de 0,12°C/década, cuando las emisiones han venido aumentando de forma continua en todo este tiempo.

Variación de temperatura en la superficie terrestre, 1850-2012



Fuente: IPCC/ WGI/AR5/2013

Existen tres razones potenciales que podrían explicar la cuestión del hiato de temperatura, que está lejos de ser entendida y cuya comprensión resulta de enorme relevancia para el futuro: 1) La variabilidad interna del clima, donde existen ciclos plurianuales largos; 2) Una reducción del forzamiento radiativo como consecuencia del mínimo solar producido en 2.008 -de una intensidad muy superior a los anteriores mínimos solares producidos en los ciclos solares de once años, denominados ciclos de Wolff- y de una mayor cantidad polvo emitido en las últimas erupciones volcánicas; y 3)

Errores en los modelos climáticos, que pudieran sobreestimar la respuesta del sistema climático a las emisiones de gases de efecto invernadero.

Me atrevo a afirmar que la hasta ahora inexplicable, cuestión del hiato de temperatura es, sin duda, la novedad más relevante aparecida en el Informe del IPCC de 2.013/2.014 con respecto al correspondiente Informe de 2.007. Sin embargo, ha tenido una casi nula atención en los medios, no siendo algo que resulte fácil de explicar ni de entender. Es claro que los responsables de la negociación climática, de enorme complejidad, no han querido poner el acento sobre algo que, utilizado de una forma demagógica, podría poner en duda la necesidad de alcanzar un acuerdo internacional hasta que las observaciones puedan ser definitivamente explicadas por la ciencia climática. En todo caso, la cuestión va a ser despejada con el simple paso del tiempo, dado que no es posible que la diferencia entre predicciones de modelos y realidad observada sea cada vez más discrepante; si así fuera, habría que revisar los modelos climáticos para poder explicar dichas discrepancias, lo que podría modificar las previsiones realizadas.

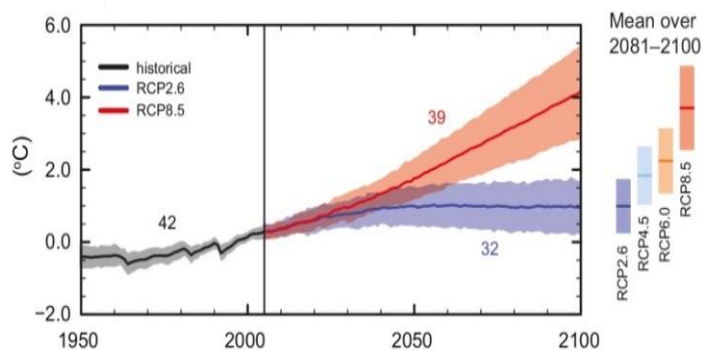
A pesar de todo lo anterior, en mi opinión es urgente un acuerdo internacional sobre el clima que establezca una hoja de ruta para hacer frente a la cuestión climática por las implicaciones potenciales de no actuar ahora. En todo caso, el tema del hiato de temperatura debe seguir siendo analizado hasta que o bien desaparezca -lo que llevaría a una aceleración durante varios años de los incrementos de temperatura sobre las predicciones de los modelos para compensar el retraso que se viene produciendo desde 1.998- o bien pueda ser explicado de forma consistente por la ciencia climática.

Previsiones climáticas del Informe del IPCC de 2.013/2.014, sus causas y el coste de mitigación

Las previsiones climáticas dependen del escenario previsto de emisiones de gases de efecto invernadero y del modelo climático utilizado. El escenario de emisiones depende, a su vez, de: 1) El crecimiento económico, que es función, a su vez, de la evolución de la demografía y de su distribución regional y 2) De la intensidad de emisiones de gases de efecto invernadero por unidad de Producto Interior Bruto, lo que depende de la intensidad energética y de la evolución e implantación de las diferentes tecnologías por sectores y países, dado que la estructura económica de los diferentes países dista mucho de ser homogénea.

A su vez, el modelo climático ha sido calibrado a lo largo de los últimos años, pero, en la mayor parte de los casos, está obligado a realizar previsiones fuera del rango en que ha sido calibrado. Una medida muy gráfica de la incertidumbre de las previsiones de los modelos climáticos está representada por la sensibilidad climática de equilibrio, que es el incremento de temperatura medio en la superficie de la Tierra a largo plazo cuando se duplica la concentración del CO₂ en la atmósfera. El Informe del IPCC del 2013 ha estimado que la sensibilidad climática a largo plazo tiene una probabilidad superior al 66% de estar comprendida en un rango entre 1,5°C y 4,5°C, con una probabilidad superior al 95% de ser superior a 1°C e inferior a 6°C. Es conveniente resaltar que el Informe del IPCC de 2007 había estimado que el límite inferior del rango de temperaturas para el 66% de probabilidad era de 2°C en lugar de los 1,5°C actuales -coincidía en los 4,5°C para el rango superior con el Informe de 2.013/2.014-, por lo que ha aumentado la incertidumbre de las previsiones climáticas en el estado actual de nuestros conocimientos sobre la situación anterior.

Variación de la temperatura de la superficie terrestre

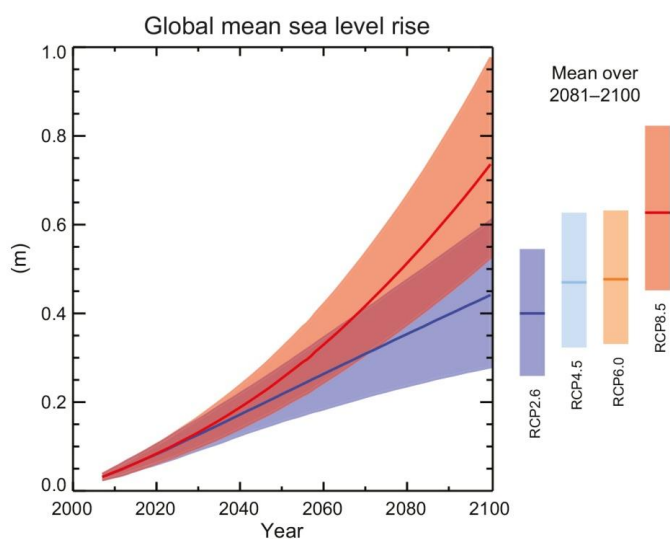


Fuente: IPCC/ WGI/AR5/2013

Por otra parte, debe tenerse en cuenta que la evolución económica depende, a su vez, de las emisiones, por cuanto que éstas afectan de una forma muy directa al clima, por ejemplo, al reducir la productividad de la agricultura en determinadas latitudes o bien al obligar a una innovación tecnológica para sustituir las tecnologías convencionales utilizadas en sectores muy contaminantes por otras más limpias -lo que, a su vez, puede tener un efecto dinamizador sobre otros sectores económicos- o bien al tener como consecuencia una variación en la probabilidad de fenómenos extremos como tifones, sequías, olas de calor o lluvias torrenciales, con los correspondientes daños que dichos fenómenos producen.

Resulta de enorme relevancia comprender que los resultados de las previsiones climáticas tienen un elevado nivel de incertidumbre dada la enorme complejidad del sistema climático y, en especial, los fenómenos de retroalimentación, la interfase entre la atmósfera con el océano y biosfera así como la enorme cantidad de tiempo para alcanzar una nueva situación de equilibrio, lo que puede requerir cientos de años incluso para variaciones pequeñas en la concentración de CO₂ en la atmósfera (para cambios importantes, como podrían ser la fusión de la placa de hielo sobre Groenlandia o la Antártida, el proceso podría durar varios o incluso muchos miles de años hasta conseguir una nueva situación de equilibrio).

Elevación media del nivel del mar

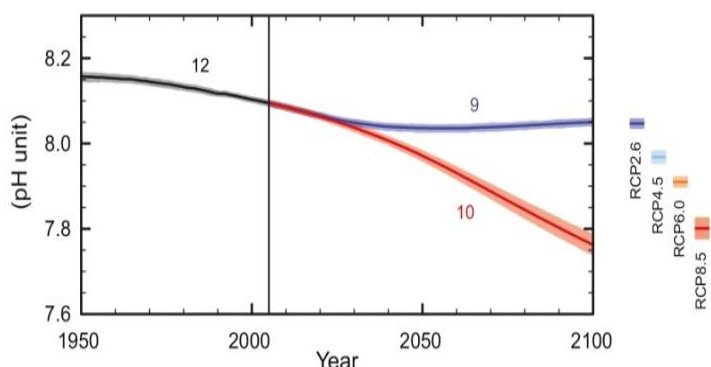


Fuente: IPCC/ WGI/AR5/2013

La cuantificación de los efectos económicos derivados del calentamiento global -de enorme importancia dado que la toma racional de decisiones debe estar basada en una cuantificación de los efectos económicos derivados del calentamiento global- presenta, todavía, una mayor incertidumbre al ser necesaria una previsión de la evolución económica en diferentes escenarios, que, como hemos comentado con anterioridad, depende en cierta medida de las propias previsiones climáticas. A este respecto, un parámetro que tiene una gran influencia sobre los impactos económicos es la tasa de descuento a utilizar para el incremento de daños producidos por el cambio climático, que tiene relación con la expectativa de crecimiento y con la solidaridad intergeneracional.

La comunidad científica ha establecido que con un incremento de 2°C sobre la temperatura en la época preindustrial, existiría un riesgo razonablemente pequeño de producir cambios en el clima de la Tierra que no pudieran ser asumidos por la humanidad y, además, una probabilidad muy baja de sobrepasar determinados umbrales que pudieran producir efectos irreversibles, como, por ejemplo, cambios importantes en las corrientes oceánicas o grandes modificaciones en los regímenes de lluvias de algunas zonas. A este respecto, conviene decir aquí que es claro que se han producido variaciones muy importantes del clima en épocas anteriores de la Tierra (por ejemplo, la aparición del hielo de la Antártida se produjo hace 35 millones de años o bien la atmósfera ha llegado a tener concentraciones de CO₂ de hasta 6.000 ppmv hace muchos millones de años), pero hay que tener en cuenta la sedentarización del hombre actual y la rapidez con que se están produciendo los cambios, mucho mayor que en cualquier época anterior que podamos medir (por ejemplo, la variación de la concentración de CO₂ en la atmósfera se está produciendo a un ritmo entre 10 y 100 veces superior al que se produjo al final del Último Máximo Glacial, hace unos 21.600 años, para dar paso a la época cálida -holoceno- que estamos viviendo desde hace más de 11.000 años).

Ph medio del océano



Fuente: IPCC/ WGI/AR5/2013

Los resultados de los modelos climáticos predicen que para tener una probabilidad del 50% de que dicho incremento de temperatura de 2°C no se sobrepase en el siglo XXI (no se habla aquí de temperatura de equilibrio, es decir la que se alcanzaría a largo plazo, por la enorme inercia del sistema climático, sino de temperatura en el año 2.100; esta es una gran diferencia con el Informe 4° del IPCC de 2.007, que consideraba siempre temperaturas de equilibrio o de largo plazo, es decir, hablaba de incrementos de temperatura comprometidos para el futuro), es necesario que las emisiones acumuladas de CO₂ equivalente no superen, en su valor medio, la cantidad de 1.270 GtCO₂eq (equivalentes a unas 350 GtC) en el periodo entre los años 2.011 y 2.100. Para darnos cuenta de lo que esta limitación representa, hay que tener en cuenta que, en estos momentos, estamos emitiendo alrededor de 50 GtCO₂ anuales y que dicha emisión ha venido aumentando a un ritmo anual de un 2,2% desde 2.000 a 2.010. Si siguiéramos emitiendo al ritmo actual de 50 GtCO₂ (algo que requeriría un esfuerzo notable, dado que las emisiones de los países en vías de desarrollo están aumentando a un ritmo elevado y que, por ejemplo, China se acaba de comprometer a alcanzar su máximo de emisiones en 2.030), las emisiones en el periodo 2.011 a 2.100 alcanzarían las 4.500 GtCO₂ (equivalentes a unas 1.230 GtC), cantidad casi

cuatro veces superior a la necesaria para tener una probabilidad del 50% de no superar el incremento de 2°C en este siglo.

Para conseguir dicho objetivo de un incremento de 2°C en 2.100 con una probabilidad del 50%, sería necesario reducir las emisiones en 2.050 en un 40% con respecto a 2.010 y conseguir unas emisiones nulas para finales de este siglo, lo que da idea de la magnitud del esfuerzo que nos queda por delante. Ello daría una concentración de CO₂ equivalente en la atmósfera de 500 ppmv en el año 2.100 (unas 400 ppmv en la actualidad).

Parámetros clave de los diferentes escenarios analizados

CO ₂ eq Concentrations in 2100 (CO ₂ eq) Category label (concentration range) ⁹	Subcategories	Relative position of the RCPs ⁵	Cumulative CO ₂ emissions ⁷ (GtCO ₂)		Change in CO ₂ eq emissions compared to 2010 in (%) ⁸		Temperature change (relative to 1850–1900) ^{5,6}				
			2011–2050	2011–2100	2050	2100	2100 Temperature change (°C) ⁷	Likelihood of staying below temperature level over the 21st century ⁸			
								1.5 °C	2.0 °C	3.0 °C	4.0 °C
< 430	Only a limited number of individual model studies have explored levels below 430 ppm CO ₂ eq										
450 (430–480)	Total range ^{1,10}	RCP2.6	550–1300	630–1180	–72 to –41	–118 to –78	1.5–1.7 (1.0–2.8)	More unlikely than likely	Likely	Likely	Likely
500 (480–530)	No overshoot of 530 ppm CO ₂ eq		860–1180	960–1430	–57 to –42	–107 to –73	1.7–1.9 (1.2–2.9)	Unlikely	More likely than not		
	Overshoot of 530 ppm CO ₂ eq		1130–1530	990–1550	–55 to –25	–114 to –90	1.8–2.0 (1.2–3.3)		About as likely as not		
550 (530–580)	No overshoot of 580 ppm CO ₂ eq		1070–1460	1240–2240	–47 to –19	–81 to –59	2.0–2.2 (1.4–3.6)	Unlikely	More unlikely than likely ¹²		
	Overshoot of 580 ppm CO ₂ eq		1420–1750	1170–2100	–16 to 7	–183 to –86	2.1–2.3 (1.4–3.6)				
(580–650)	Total range	RCP4.5	1260–1640	1870–2440	–38 to 24	–134 to –50	2.3–2.6 (1.5–4.2)	Unlikely	Unlikely	More likely than not	
(650–720)	Total range		1310–1750	2570–3340	–11 to 17	–54 to –21	2.6–2.9 (1.8–4.5)				
(720–1000)	Total range	RCP6.0	1570–1940	3620–4990	18 to 54	–7 to 72	3.1–3.7 (2.1–5.8)	Unlikely ¹¹	More unlikely than likely		
>1000	Total range	RCP8.5	1840–2310	5350–7010	52 to 95	74 to 178	4.1–4.8 (2.8–7.8)	Unlikely ¹⁵	Unlikely	More unlikely than likely	

Fuente: IPCC/ WGIII/AR5/2014

En la Tabla adjunta se pueden observar los resultados de los modelos climáticos para diferentes concentraciones de dióxido de carbono en la atmósfera a finales de este siglo, las emisiones acumuladas entre 2.011 y 2.100 asociadas a dicha concentración, la reducción de las emisiones en los años 2.050 y 2.100 con respecto a las de 2.010 y el incremento de temperatura previsto en dicho momento así como su distribución de probabilidad.

La estimación del coste necesario para alcanzar una determinada concentración de dióxido de carbono en la atmósfera depende de los siguientes factores: 1) De la concentración de CO₂ en la atmósfera en el año 2.100; 2) De la evolución tecnológica y de la curva de aprendizaje de cada una de las tecnologías bajas en carbono: captura y almacenamiento de carbono, nuclear, solar y eólica; y 3) Del año en que se alcanza el máximo de emisiones; a mayor retardo en la obtención de dicho máximo, el esfuerzo a realizar será mayor a partir de entonces y, por tanto, el coste será mayor.

Disminución del consumo mundial en escenarios eficientes de coste

	Consumption losses in cost-effective scenarios ¹				Increase in total discounted mitigation costs in scenarios with limited availability of technologies				Increase in medium- and long-term mitigation costs due to delayed additional mitigation until 2030			
	[% reduction in consumption relative to baseline]			[percentage point reduction in annualized consumption growth rate]	[% increase in total discounted mitigation costs (2015–2100) relative to default technology assumptions]				[% increase in mitigation costs relative to immediate mitigation]			
2100 Concentration (ppm CO ₂ eq)	2030	2050	2100	2010–2100	No CCS	Nuclear phase out	Limited Solar/Wind	Limited Bioenergy	≤ 55 GtCO ₂ eq		> 55 GtCO ₂ eq	
					2030–2050	2050–2100	2030–2050	2050–2100	2030–2050	2050–2100	2030–2050	2050–2100
450 (430–480)	1.7 (1.0–3.7) [N: 14]	3.4 (2.1–6.2)	4.8 (2.9–11.4)	0.06 (0.04–0.14)	138 (29–297) [N: 4]	7 (4–18) [N: 8]	6 (2–29) [N: 8]	64 (44–78) [N: 8]	28 (14–50) [N: 34]	15 (5–59)	44 (2–78) [N: 29]	37 (16–82)
500 (480–530)	1.7 (0.6–2.1) [N: 32]	2.7 (1.5–4.2)	4.7 (2.4–10.6)	0.06 (0.03–0.13)								
550 (530–580)	0.6 (0.2–1.3) [N: 46]	1.7 (1.2–3.3)	3.8 (1.2–7.3)	0.04 (0.01–0.09)	39 (18–78) [N: 11]	13 (2–23) [N: 10]	8 (5–15) [N: 10]	18 (4–66) [N: 12]	3 (–5–16) [N: 14]	4 (–4–11)	15 (3–32) [N: 10]	16 (5–24)
580–650	0.3 (0–0.9) [N: 16]	1.3 (0.5–2.0)	2.3 (1.2–4.4)	0.03 (0.01–0.05)								

Fuente: IPCC/ WGIII/AR5/2014

En la Tabla adjunta podemos ver que, en un escenario óptimo de máxima eficiencia económica, el coste mínimo para alcanzar una concentración de 500 ppmv de CO₂ sería el de una reducción de un 0.06% del Consumo mundial anual. Dicho coste sería mayor en el caso de escenarios no optimizados en la utilización de las tecnologías disponibles así como si se retrasara en el tiempo la mitigación de las emisiones.

El caso particular de España

España es uno de los países más afectados negativamente por el cambio climático y, por tanto, nuestro país debería colocarse en una posición de liderazgo en el debate internacional sobre el mismo. Los principales efectos del calentamiento global sobre nuestro país son los siguientes: 1) La probable disminución de la precipitación, de igual forma que en los demás países de la cuenca Mediterránea; 2) El aumento de los fenómenos extremos, fundamentalmente de las olas de calor y del oleaje en los temporales, aunque también podría ocurrir con las precipitaciones (la correlación entre el aumento de la frecuencia de los fenómenos extremos en todo el mundo y el calentamiento global es una de las principales conclusiones del 5º Informe del IPCC); 3) El considerable aumento de la temperatura, especialmente en época estival, lo que le puede hacer perder interés a nuestro país como destino turístico en favor de otras localidades situadas más al norte; y 4) El aumento del nivel del mar.

En los últimos años, se han publicado en nuestro país dos estudios sectoriales de gran profundidad donde se abordan determinados impactos derivados del calentamiento global:

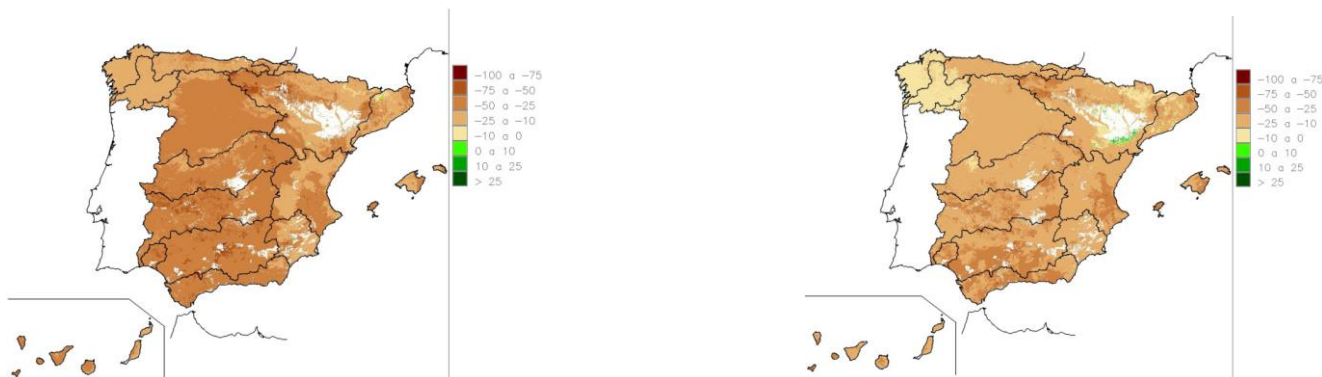
- “*Estudio de los Impactos del cambio Climático en los Recursos Hídricos y las Masas de Agua*”, realizado por el CEDEX por encargo del Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente (año 2.012)
 - Deben tenerse en cuenta las dos siguientes consideraciones a la hora de evaluar las conclusiones de este estudio:
 - Fue realizado a partir de los datos obtenidos del 4º Informe del IPCC, de 2.007
 - El agua disponible para el consumo o el riego depende de: 1) La precipitación y de su distribución a lo largo del año, 2) La evapotranspiración, que a su vez depende de la temperatura y de la insolación así como de su distribución a lo largo del año; ambas variables (precipitación y evapotranspiración) varían con los diferentes escenarios de emisiones (también varían con los diferentes modelos climáticos, por lo que deben

promediarse los resultados obtenidos de los diferentes modelos para un mismo escenario de emisiones)

Variación de la escorrentía en 2.071/2.100 con respecto a 1.961/1.990

*Escenarios de emisiones A2
2071-2100 sobre 1961-1990*

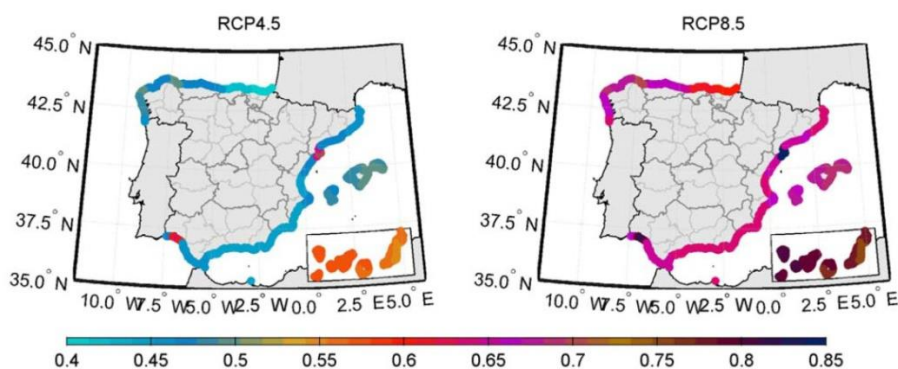
*Escenarios de emisiones B2
2071-2100 sobre 1961-1990*



Fuente: Magrama/2012

- Las conclusiones del estudio son las siguientes para la España peninsular y para el periodo 2.071-2.100 con respecto al periodo de control 1961 a 1990:
 - Disminuye la cantidad de agua disponible en un 30% para el Escenario de emisiones A2 (intensivo en emisiones) y en un 18% para el Escenario B2 (con fuerte mitigación en las emisiones sobre el escenario tendencial)
 - Aumenta la demanda de uso doméstico en un 6% para el Escenario de emisiones A2 y en un 4% para el Escenario B2

Proyecciones de aumento del nivel del mar en 2.081/2.100 con respecto a 1.986/2.005 (m)



Fuente: IH CANTABRIA/ 2012

- “Cambio Climático en la Costa Española”, realizado por el Instituto de Hidráulica Ambiental de la Universidad de Cantabria por encargo Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente (año 2.014):

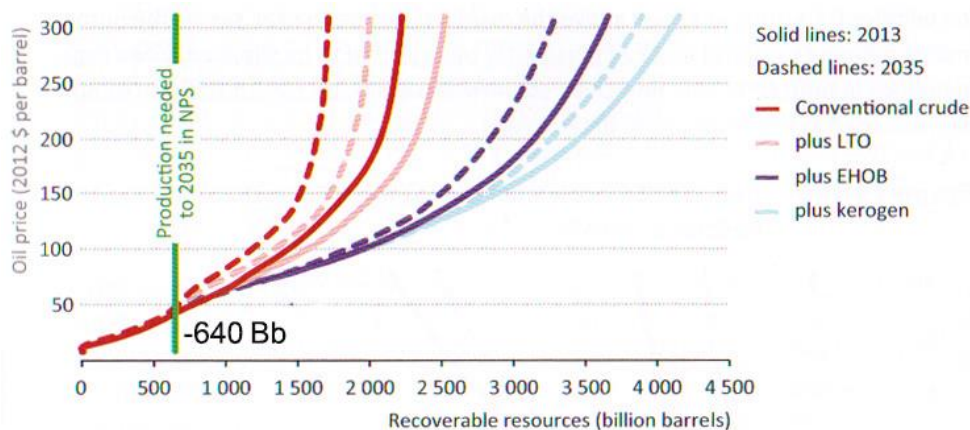
- Las principales conclusiones de este estudio son las siguientes:
 - El aumento del nivel del mar en la zona Atlántica ha sido de 1,5 a 1,9 mm/año entre 1.900 y 2.010 y de entre 2,8 y 3,6 mm/año entre 1.993 y 2.010. Existe mayor incertidumbre en la variación del nivel del mar en la zona mediterránea por los efectos regionales

- En el Cantábrico se ha producido un incremento de 0,8 cm/año en los oleajes más intensos mientras que ha disminuido en el Mediterráneo y en Canarias
- Los efectos adversos derivados del aumento del nivel del mar se pueden mitigar si se acometen labores de adaptación al mismo

Divorcio entre los discursos energético y climático

Por último, un tema que hay que tener presente es que a lo largo de los últimos años se ha producido un profundo divorcio entre los discursos energético y climático, que habían ido juntos desde el momento en que el hombre tomó conciencia de los riesgos y amenazas derivados del calentamiento global. En efecto, hasta hace pocos años ambos discursos iban de la mano por cuanto existía un consenso entre los expertos de que el pico de producción del petróleo (también denominado pico de Hubber) se situaba con anterioridad al año 2.035 (algunos centros de investigación lo situaban hace menos de 10 años hacia 2.020). Dicha previsión ha sido desmentida a partir una serie de hechos, los más importantes de los cuales son los siguientes: 1) Unos estudios actualizados de las reservas de petróleo realizados con posterioridad al año 2.000 tanto por la US Geological Survey (USGS) y por la Agencia Internacional de Energía, que han incrementado considerablemente las reservas existentes de combustibles fósiles sobre las estimadas hasta entonces; 2) La evolución tecnológica, que permite extraer un mayor porcentaje de las reservas de los pozos; 3) El aumento de precio del petróleo, lo que permite utilizar técnicas de mayor coste de extracción; 4) El desarrollo de los biocombustibles y de técnicas para obtener gasolinas a partir de gas o de carbón; y 5) El desarrollo de las técnicas de fracturación hidráulica para la obtención de gas y de petróleo, que ha sido el principal detonante de la reducción del precio del petróleo a partir de mediados del año 2.014.

Curvas del coste de suministro de petróleo en 2012 y 2035 en el escenario “new policies” de la agencia internacional de energía



Fuente: WEO/IEA/2013

De lo anterior se deduce que las reservas de combustibles fósiles al precio de referencia de 100 a 120 dólares por barril -lo que determina, en alguna medida, los precios del carbón y del gas- son mucho más grandes de lo que estimábamos hasta hace pocos años (por ejemplo, las estimaciones actuales de las reservas mundiales de gas son de 800 billones de metros cúbicos -el consumo mundial anual es de alrededor de 3,5 billones de metros cúbicos-, habiéndose duplicado aquéllas en menos de 10 años). Por lo que, si tenemos en cuenta que el dióxido de carbono es un compuesto químico muy estable y que permanece en la atmósfera durante muchos años (una parte se disuelve en el océano y otra se queda en las plantas), es claro que no será posible quemar una gran parte de los combustibles fósiles almacenados en la corteza terrestre. Ello deja sólo al calentamiento global como vector de transformación de la economía y de las ciudades.

2.4. La necesidad de resiliencia en las ciudades por la fragilidad de la complejidad tecnológica y los fenómenos extremos

Es claro que la creciente complejidad y especialización de las ciudades las hace cada vez más frágiles y dependientes de más factores. La resolución de los problemas derivados del fallo de alguno de los sistemas imprescindibles para su funcionamiento es algo que no se puede improvisar, requiriendo el análisis, prevención y simulación para su resolución. Para ello es necesario probar los protocolos de actuación con cierta periodicidad, de la misma forma que se hace periódicamente con las pruebas de evacuación de un edificio en altura.

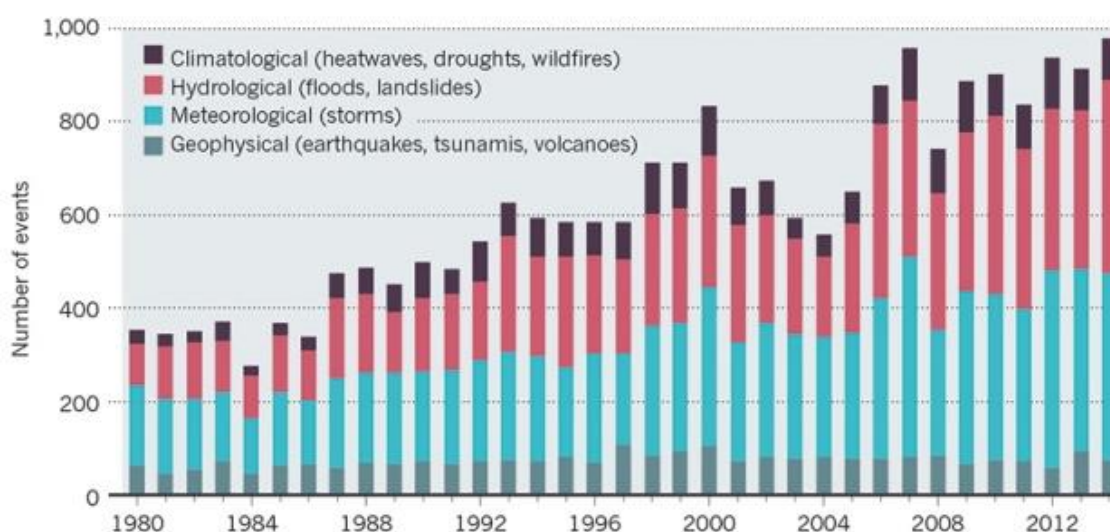
En concreto, habría que prever la forma de resolver el fallo -así como las personas y organismos responsables de proceder a su resolución- de todos los sistemas más sensibles sobre los que depende el funcionamiento de la ciudad, desde el suministro eléctrico hasta el trasiego de información a partir de servidores o de canalizaciones de fibra óptica.

En la medida de lo posible y para cada uno de los sistemas, habría que intentar que su diseño fuera en red, de forma que el fallo de un elemento pudiera tener rutas alternativas de resolución. Asimismo, habría que realizar un análisis de riesgos mediante la evaluación de la probabilidad de ocurrencia de determinados sucesos y de las consecuencias derivadas de los mismos. Dicho análisis exigirá la duplicación o triplicación de elementos del sistema considerados críticos, de la misma forma que se duplican los motores de un avión para permitir su aterrizaje en caso de que uno de los motores se averíe o bien en el caso de fallo de elementos esenciales para el funcionamiento y seguridad de una central nuclear.

En todo caso, es claro que una ciudad tiene una complejidad mucho mayor que cualquier aparato o fábrica y, además, está el factor humano y las reacciones de las personas, que no son fáciles de prever.

Uno de los aspectos a considerar en este análisis es el derivado de la mayor frecuencia de los fenómenos extremos que trae consigo el calentamiento global, de consecuencias muy negativas, como han sido los tifones Katrina en Nueva Orleans (2.005), el Sandy en Nueva York (2.012), o bien el Haiyang, en Tacloban (Filipinas, 2.013), que tantos daños humanos y materiales causaron y cuyas consecuencias no habían sido previstas en ninguno de los casos.

Evolución de los desastres naturales desde 1980



Fuente: Revista Nature, 18 de Junio de 2015

Las lecciones aprendidas de la historia para minimizar los daños producidos por los fenómenos extremos son:

- Construir bien para salvar vidas y limitar los daños
- Invertir en la mitigación de los efectos: por ejemplo, el coste estimado para proteger Nueva Orleans frente a la inundación provocada por la subida del nivel del mar como consecuencia de un tifón de gran magnitud es de unos 14.000 millones de dólares, mientras que la estimación de las pérdidas producidas en 2.005 fue de 125.000 millones de dólares
- Tener preparados planes y equipos de emergencia; por ejemplo, en el tifón Haiyan (Filipinas, 2.013), si los equipos de emergencia hubieran comunicado a la población la llegada de un tsunami en lugar de la llegada de una gran tormenta, mucha más gente habría huido de la costa y se habría salvado

3. CÓMO HACER FRENTE A LOS NUEVOS DESAFÍOS DERIVADOS DEL CALENTAMIENTO GLOBAL

De los cuatro desafíos a los que deben de hacer frente las ciudades inteligentes y que hemos desarrollado en el Apartado 2, únicamente vamos a dar algunas claves sobre la forma de abordar los derivados del calentamiento global, lo que exigirá modificaciones profundas en el planeamiento de las ciudades así como en el diseño de los edificios y de algunas de sus infraestructuras.

La forma de abordar los desafíos derivados del calentamiento global son muy diferentes según se trate de ciudades consolidadas, algo muy frecuente en las grandes ciudades de los países industrializados, o bien de ciudades donde todavía no se ha completado la migración del campo a la ciudad, lo que ocurre en muchas de las ciudades de los países en vías de desarrollo y emergentes. No cabe duda de que tenemos una oportunidad única de aplicar una serie de nuevas ideas a las ciudades con potencial de crecimiento -como en un tiempo no muy lejano fueron las nuestras-, aunque no debemos olvidar que las ciudades consolidadas son el fruto de hacer frente a otros desafíos que fueron surgiendo a lo largo de su desarrollo, como por ejemplo los ensanches de las ciudades españolas en la segunda mitad del siglo XIX y principios del siglo XX.

Los cuatro criterios que debemos aplicar a las ciudades para hacer frente a los desafíos derivados del calentamiento global son los siguientes: 1) Urbanismo compacto; 2) Coordinación de la ordenación urbana con el transporte público; 3) Eficiencia energética en la edificación; y 4) Optimización en el ciclo integral del agua.

El urbanismo compacto

El urbanismo disperso o de baja densidad ha sido dominante en la mayor parte de los planeamientos urbanísticos de nuestras ciudades en los últimos años, habiéndose identificado con un urbanismo de calidad. Tiene la indudable ventaja de proporcionar a sus habitantes una mayor cantidad de espacio, lo que evita la sensación de aglomeración que crea la ciudad, pero, a su vez, tiene los siguientes inconvenientes:

- Ocupa una mucha mayor cantidad de espacio para ubicar una población determinada
- Tiene un coste mucho mayor de construcción y de mantenimiento de la urbanización y de los servicios (distribución y saneamiento de agua, alumbrado, distribución eléctrica, telefonía y gas) así como de las zonas comunes
- No tienen densidad suficiente para la viabilidad de sistemas de transporte público, estando ligados estos desarrollos a un uso intensivo del vehículo privado
- Las distancias recorridas son mayores que en un urbanismo compacto, lo que supone un mayor consumo de energía y de tiempo
- Obliga a localizar los comercios en zonas concretas, en general alejadas de las viviendas

- El consumo de energía tanto en la construcción como en la explotación de los edificios es mayor que en un urbanismo de mayor densidad
- La tipología de viviendas del urbanismo disperso -en general, pareadas o unifamiliares- lleva apareado un mayor consumo de energía embebida en los materiales así como en el uso y explotación de la vivienda

Proyecto de Masdar, Abu Dhabi



El transporte público

La utilización de sistemas de transporte público como el ferrocarril o el autobús reduce el consumo de energía por desplazamiento (según la UITP -*Union Internationale de Transport Publique*- para un mismo desplazamiento, el consumo de energía en vehículo privado es 2,2 veces superior al de un sistema de transporte público como el metro o el autobús) así como las emisiones de gases contaminantes y de invernadero a la atmósfera. Es por ello por lo que uno de los objetivos del planeamiento debe ser el de aumentar la cuota del transporte público en las ciudades. Para ello se pueden emplear un conjunto de soluciones, entre ellas: 1) Localizar los usos más intensivos en demanda de transporte -los usos comerciales y de oficinas demandan mayor cantidad de transporte por unidad de superficie construida que el uso residencial- en los nodos de comunicaciones; 2) Reservar un carril para el uso exclusivo del autobús, eliminándolo de los carriles para el vehículo privado; un caso donde se ha empleado esa solución de una forma muy eficiente ha sido en Curitiba (Brasil); 3) Localizar el desarrollo urbano en los ejes de transporte público, como se ha llevado a cabo en Copenhague, con sus famosos “dedos”. En todo caso, sería conveniente en todos los planeamientos urbanísticos el establecimiento de objetivos cuantitativos de cuota de transporte público, aunque la decisión final de utilizar un sistema u otro siempre le corresponde al ciudadano.

Carril exclusivo para autobús en Curitiba, Brasil

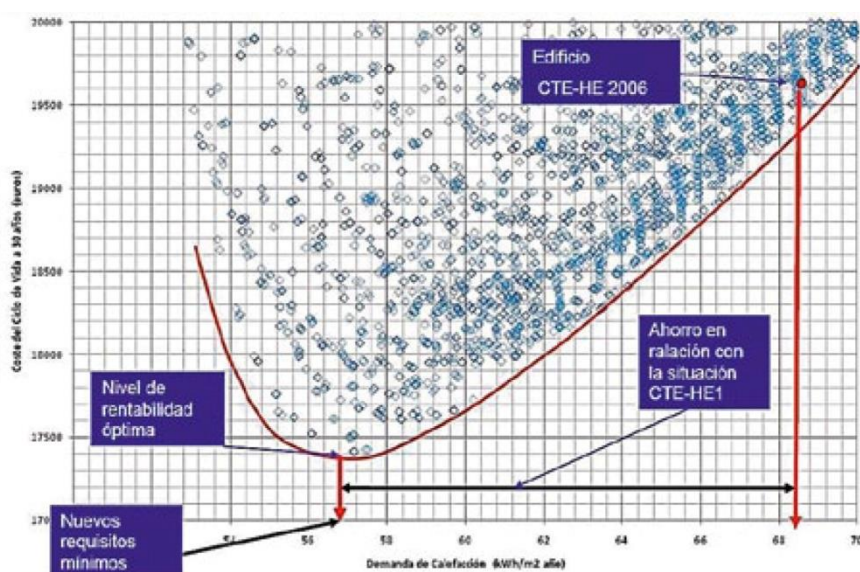


La eficiencia energética de la edificación

El uso y explotación de los edificios -que no incluye la energía embebida en los materiales- es responsable de alrededor del 40% del consumo de energía final y de alrededor del 36% de las emisiones de gases de efecto invernadero en el conjunto de los 28 países de la Unión Europea. Dichas cifras son muy parecidas en EEUU: 39% del consumo de energía final y 36% de las emisiones de gases de efecto invernadero. De lo que se deduce que no es posible ninguna política ambiciosa de reducción de las emisiones de los gases de efecto invernadero sino se aborda la mejora considerable de la eficiencia energética de este sector. A la hora de abordar esta cuestión, algunos de los aspectos que deben tenerse en cuenta son los siguientes

- La intensidad energética de los edificios de uso terciario (hospitales, hoteles, centros comerciales y oficinas) es mucho mayor que la correspondiente a los edificios residenciales
- Es necesario intervenir sobre el parque edificado, dado que su ritmo de rehabilitación es inferior al 1% anual en los países industrializados
- La reducción del consumo de energía es muy sensible a la temperatura en el interior del edificio. Por ejemplo, la disminución de 1°C en invierno en el interior del edificio puede representar alrededor del 7% de disminución en la demanda de calefacción
- Las normativas de construcción deben exigir, en una primera fase, la aproximación al coste mínimo en el ciclo de vida del edificio para superar los intereses contrapuestos entre el propietario del edificio y el inquilino del mismo. Dicho coste debe ser la suma del coste de inversión y del coste de explotación y mantenimiento a lo largo de la vida útil, para lo que debe estimarse el coste de las diferentes fuentes de energía a lo largo de la misma y debe aplicarse una tasa de actualización de los costes futuros para traducirlos en su valor presente
- Habría que considerar el coste medioambiental de las emisiones de gases de efecto invernadero requeridas por la edificación, lo que requiere ponerle un precio a la tonelada del dióxido de carbono
- Es posible que en una segunda fase sea necesario en los códigos de construcción ir más allá de las exigencias de coste mínimo en el ciclo de vida del edificio, aunque ello dependerá de la evolución tecnológica y de la hoja de ruta elegida para las emisiones

Curva de coste global (inversión + explotación) en el ciclo de vida del edificio



Otros dos aspectos de gran relevancia a la hora de optimizar la eficiencia energética de los edificios son las siguientes: 1) Es muy importante la optimización energética de los Centros de Proceso

de Datos, que pueden representar una parte muy relevante del consumo para edificios ultra eficientes; y 2) Es necesario considerar, además del consumo energético y las emisiones de gases de efecto invernadero en el uso y explotación de edificio, los correspondientes al proceso de construcción; este último incluye la fabricación de los materiales, su transporte a obra -lo que penalizaría a los materiales transportados desde grandes distancias- y el propio proceso constructivo. Hay que tener en cuenta que, una vez que se consigue una reducción considerable en el consumo energético del uso y explotación del edificio, la energía y emisiones de los materiales pueden llegar a representar una parte muy relevante del total de ambos en el ciclo de vida del edificio.

Una tecnología que podría permitir mejorar la eficiencia energética de los edificios es la utilización de sistemas de climatización centralizada, que consisten en una central de producción de calor y su correspondiente red de distribución hasta cada uno de los edificios. Los sistemas de frío centralizado no son viables en nuestro país por necesitar conducciones de mayor diámetro –al ser el salto térmico menor que en la producción de calor- y puesto que en uso residencial el frío únicamente es necesario menos de dos meses al año, periodo dentro del cual una parte importante de la población toma vacaciones.

La optimización en el ciclo integral del agua

Por último, otro de los temas de gran relevancia en un gran número de ciudades es la optimización en el ciclo del agua. Entre dichas ciudades están, sin duda, todas las ciudades ubicadas en los países mediterráneos, donde está previsto en todos los escenarios de emisiones una fuerte disminución de las precipitaciones y, aún mayor, de la cantidad de agua disponible así como un aumento de la frecuencia de las sequías extremas. También ésta es una cuestión de gran relevancia para las megalópolis de los países hoy emergentes o en vías de desarrollo, cuyo aumento de población y de nivel de vida requerirá disponer de cantidades de agua muy superiores a las actuales.

La optimización en el ciclo integral del agua tiene dos aspectos: por un lado, la disminución del consumo mediante la utilización de aguas regeneradas para su utilización en usos que no requieran agua potable, como podrían ser los sanitarios, el riego de zonas verdes privadas o públicas, o el baldeo de calles. En este caso, se requerirá la utilización de una doble red de suministro, una para el agua potable y otra para el conjunto de servicios que no la requieran.

Por otro lado, la utilización de Sistemas de Drenaje Sostenible -cuya finalidad es aproximar el ciclo de drenaje del agua de lluvia al comportamiento natural en ausencia de urbanización-, que utilizan diferentes tipos de soluciones como, entre otros, pozos y zanjas de infiltración, superficies permeables, cubiertas vegetadas, zonas de biorretención, drenes filtrantes o estanques de retención. Ello permite reducir los caudales punta de lluvia -lo que disminuye el riesgo de inundación y permite disminuir los diámetros de los colectores de saneamiento-, reducir las cantidades de agua que van a la depuradora –con el consiguiente ahorro de costes de explotación de la misma- y las cantidades vertidas al cauce en episodios de precipitación intensa.

4. CONCLUSIONES

Las principales conclusiones que se derivan de los aspectos abordados en este artículo sobre las ciudades inteligentes son las siguientes:

- Una ciudad inteligente debe abordar el conjunto de desafíos que se le plantean –sociológicos y políticos, económicos, formales, tecnológicos, medioambientales y de resiliencia- de una forma holística y eficiente, todo ello mediante la utilización de las tecnologías y técnicas más eficientes y adecuadas
- La mera utilización de técnicas muy avanzadas no es una condición suficiente para la consideración de una ciudad como inteligente; es importante evitar la colonización de las

ciudades por los intereses de las empresas tecnológicas, aunque es necesario utilizarlas para abordar los desafíos actuales

- Vivimos en un mundo muy complejo en el que se mezclan los intereses de potentes grupos económicos y las ideas; en particular, ideas e intereses están muy mezclados en todo lo referente al calentamiento global, tanto en el sentido de reducir su importancia como en el de exagerar sus efectos
- Los cuatro grandes desafíos de las ciudades son:
 - El aumento de la competencia entre ciudades, de la que resultarán ganadores y perdedores; el mayor riesgo potencial se presenta para las ciudades medias muy dependientes de un sólo sector económico
 - El potencial aumento de la tensión social derivado de las conclusiones del estudio de Thomas Piketty, que piensa que en el futuro se producirá una concentración de la riqueza en cada vez menos manos, todo ello debido a que el rendimiento del capital es superior al crecimiento de la economía
 - Las consecuencias del calentamiento global:
 - Es uno de los cuatro grandes desafíos de la humanidad junto con el hambre, el riesgo de pandemia y el impacto de un asteroide contra la Tierra
 - El límite de emisiones entre los años 2.011 y 2.100 para tener una probabilidad del 50% de que la temperatura media en la Tierra se incremente en el año 2.100 en 2°C (aun en ausencia de emisiones posteriores, el incremento hasta conseguir la temperatura de equilibrio sería mayor, entre 2,5°C y 3°C) sobre la temperatura media en la época preindustrial es de 1.270 GtCO₂ equivalente; para ello sería necesario reducir las emisiones mundiales -que han venido creciendo entre 2.000 y 2.010 en un 2,2% anual- con respecto a las de 2.010 en un 40% en 2.050 y en un 100% en 2.100
 - Existe una clara insuficiencia en los compromisos de los diferentes países en cuanto a las medidas a abordar para conseguir no superar el mencionado incremento de 2°C en 2.100
 - La Cumbre del Clima de diciembre de 2.015 en París constituye una oportunidad histórica para conseguir un avance sustancial en el compromiso de los países y de sus Gobiernos para establecer una hoja de ruta con la que hacer frente a esta cuestión de enorme relevancia
 - El hiato de temperatura -el hecho de que el ritmo de incremento de temperatura en la superficie de la Tierra sea mucho más lento desde 1.998 que el que predicen los modelos climáticos- puede suponer un freno en la acción climática al poder ser utilizado por los climato escépticos para retardar los esfuerzos de mitigación, aunque, en todo caso, es necesario analizarlo hasta que la ciencia sea capaz de explicarlo en profundidad
 - España es uno de los países más afectados negativamente por el calentamiento global; sus principales efectos en nuestro país son una disminución del agua disponible, un aumento del nivel del mar, un incremento de la temperatura en verano -con potenciales efectos muy negativos sobre el turismo- y un incremento de los fenómenos extremos de olas de calor, incremento del tamaño de las olas en la zona Atlántica y de los episodios de precipitación intensa
 - En los últimos años se ha producido un profundo divorcio entre los discursos energético y climático al no ser posible la extracción de una gran parte de las reservas de combustibles fósiles existentes en la corteza de la Tierra
 - La necesidad de incrementar la resiliencia de las ciudades para hacer frente a la fragilidad derivada de la complejidad tecnológica y al incremento del número y virulencia de los fenómenos climáticos extremos
- Las claves para hacer frente a los desafíos derivados del calentamiento global en las ciudades son las siguientes

- La utilización de un urbanismo compacto y de mayor densidad edificatoria
- La coordinación entre el planeamiento urbano y el transporte público, lo que debe permitir ganar cuota en el peso de este último
- La mejora considerable de la eficiencia energética y, sobre todo, la reducción drástica de las emisiones de los edificios, debiendo considerar en ambos casos el ciclo de vida de los mismos: el uso y explotación, la fabricación de los materiales, su transporte a obra y el proceso constructivo
- La optimización en el ciclo integral del agua, tanto en la parte de suministro con el objetivo de reducir su consumo así como en la evacuación mediante la utilización de técnicas de drenaje sostenible

PRINCIPALES FUENTES UTILIZADAS

- Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC), Assessment Report 5 (AR5):
 - The Physical Science Basis, 2013
 - Impacts, Adaptation and Vulnerability, 2014
 - Mitigation, 2014
- International Energy Agency:
 - World Energy Outlook, 2013 and 2014
 - Energy Technology Perspectives, 2014
 - Special Report on Energy and Climate Change, June 2015
- Energy Information Administration, US Department of Energy, 2011, 2012, 2013, 2014
- United Kingdom Energy Research Center, Global Oil Depletion: An assessment for the evidence for a near-term peak in global oil production, August 2009
- United Nations, World Population Prospects, 2011
- Agencia Estatal de Meteorología, Guía de escenarios regionalizados de cambio climático sobre España a partir de los resultados del IPCC-AR4, Ana Morata Gasca, 2014
- International Monetary Fund:
 - World Economic Outlook, April 2012
 - World Economic Outlook, Update July 2015
- Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente:
 - Estudio de los Impactos del Cambio Climático en los Recursos Hídricos y en las Masas de Agua, CEDEX, Diciembre 2012
 - Instituto de Hidráulica Ambiental de la Universidad de Cantabria, Cambio Climático en la Costa Española, 2014
- INE, Movimiento Natural de la Población (Nacimientos, Defunciones y Matrimonios), junio de 2015
- El capital en el siglo XXI, Thomas Piketty, 2013
- Las ciudades del siglo XXI; ensayo sobre sus fundamentos socioeconómicos, tecnológicos, energéticos y climáticos, Luis Irastorza, 2012
- ESRC Centre for Climate Change Economics and Policy & Grantham Institute on Climate Change and the Environment, Understanding Climate Change Finance for the Paris Summit in December 2015, Nicholas Stern, March 2015
- Carta encíclica Laudato Si, Papa Francisco, Junio 2015
- Varios artículos de las revistas “The Economist”, “Nature” y “Scientific American”