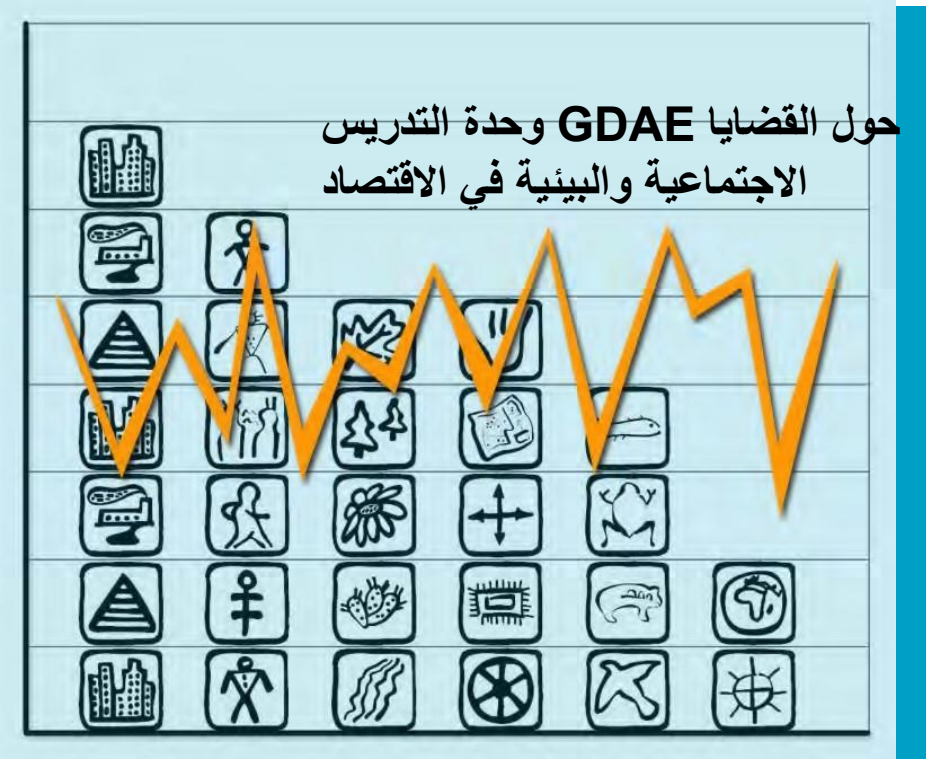
اقتصاديات تغير المناخ العالمي

بواسطة جوناثان م. هاريس، بريان روتش وآن ماري كودور



Global Development And Environment Institute
Tufts University
Medford, MA 02155
http://ase.tufts.edu/gdae

حقوق النشر © 2017 المعهد العالمي للتنمية والبيئة، جامعة تافتس.

يتم بموجب هذا منح حقوق الطبع والنشر للمدرسين لنسخ هذه الوحدة للأغراض التعليمية.

يمكن للطلاب أيضًا تنزيل الوحدة مباشرة من http://ase.tufts.edu/gdae.

نرحب بالتعليقات والتعليقات من استخدام الدورة التدريبية: المعهد العالمي للتنمية والبيئة
http://ase.tufts.edu/gdae ،جامعة تافتس سومرفيل MA 02144

البريد الإلكتروني: gdae@tufts.edu.

ملاحظة - تم تعريف المصطلحات المشار إليها بالخط العريض في قسم "المصطلحات والمفاهيم الرئيسية" في نهاية الوحدة.

اقتصاديات تغير المناخ العالمي

أسباب وعواقب تغير المناخ ..... 1 الاتجاهات في انبعاثات الكربون العالمية .1
اتجاهات وتوقعات المناخ العالمي 4..... .....
التحليل الاقتصادي لتغير المناخ .2 7..... .....
دراسات التكلفة والفوائد لتغير المناخ العالمي 15..... .....
..... تغير المناخ وعدم المساواة 17..... .....
استجابات السياسات لتغير المناخ .3 26 ....
..... التكيف والتخفيف 29..... .....
التخفيف من آثار تغير المناخ: خيارات السياسة 29 ....
..... الاقتصادية .... 32 ضرائب الكربون
التصاريح القابلة للتداول 32 ....
الضرائب على 37 ....
.... الكربون أم تحديد سقف للانبعاثات ومقايضتها؟
:أدوات السياسة الأخرى: الإعانات والمعايير والبحث والتطوير ونقل التكنولوجيا ..... 42 تغير المناخ 41
التحدي الفني .... 43 4. سياسة تغير المناخ في الممارسة
العملية ....46 اتفاقية باريس لعام 2015
ما مدى كفاية أو عدم 47 ....
..... كفاية الالتزامات؟ .... 49 الإجراءات الإقليمية والوطنية والمحلية
الغابات والتربة 52 .....
الخلاصة .5 55 ....
المصطلحات 56.. ....
والمفاهيم الأساسية..... 58
المراجع .... .61
أسئلة للمناقشة..... 65
تمارين ... .66
.... روابط الويب .....
.....67

اقتصاديات تغير المناخ العالمي

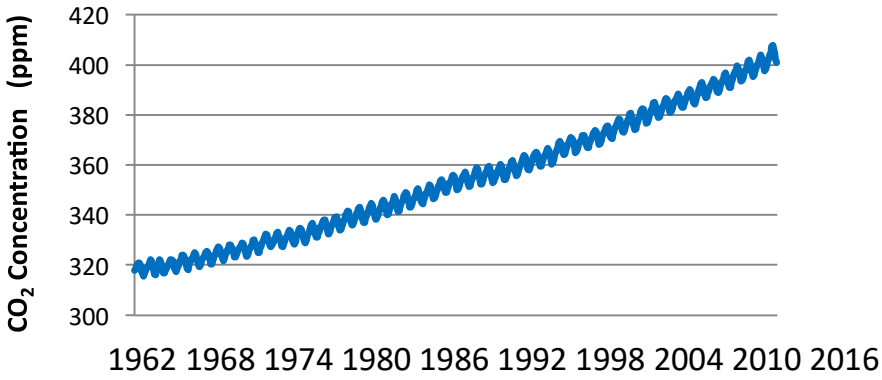
1. أسباب وعواقب تغير المناخ

والغازات الدفيئة الأخرى (CO2) لقد أدرك العلماء منذ القرن التاسع عشر التأثيرات الكوكبية لثاني أكسيد الكربون في الغلاف الجوي. وفي العقود الأخيرة، تزايد القلق بشأن قضية تغير المناخ العالمي الناجم عن زيادة تراكمات هذه الغازات. تظهر دراسات متعددة منشورة في مجلات علمية خاضعة لمراجعة النظراء أن 97% أو أكثر من علماء المناخ الذين ينشرون بنشاط يوافقون على أن اتجاهات الاحترار المناخي خلال القرن الماضي من المرجح أن تكون بسبب الأنشطة البشرية. ومن الواضح أن تقارير عامي 2013 و2014 الصادرة عن الهيئة الحكومية الدولية المعنية بتغير المناخ تعزو غالبية تغير المناخ العالمي الذي لوحظ مؤخرا إلى انبعاثات غازات الدفيئة التي يتسبب فيها الإنسان. وتتوقع الاتفاقية الدولية لوقاية النباتات زيادة في درجات الحرارة بحلول عام 2100 بين 1.5 درجة مئوية (2.7 درجة فهرنهايت) و4.8 درجة مئوية (8.6 درجة فهرنهايت)، مقارنة بمستويات ما قبل الصناعة (انظر الإطار 1).

وتشير التصريحات الأخيرة لبرنامج الأبحاث العالمي الأمريكي والاتحاد الجيوفيزيائي الأمريكي إلى القبول العلمي الواسع النطاق لحقيقة التغير المناخي، ودور الإنسان في نمطه الحديث: الأدلة على تغير المناخ كثيرة، من أعلى الغلاف الجوي إلى أعماق المحيطات. وقد قام العلماء والمهندسون من جميع أنحاء العالم بجمع هذه الأدلة بدقة، باستخدام الأقمار الصناعية وشبكات بالونات الطقس، لمراقبة وقياس التغيرات في مواقع وسلوكيات الأنواع وعمل النظم البيئية. في مجموعها، تحكي هذه الأدلة قصة لا لبس فيها: ارتفاع درجة حرارة كوكب الأرض، وعلى مدى نصف قرن، كان هذا الارتفاع في درجات الحرارة مدفوعا في المقام الأول بالنشاط البشري. – برنامج أبحاث التغير العالمي الأمريكي، 2014 إن الإنسانية هي صاحبة التأثير الرئيسي على تغير المناخ العالمي الذي لوحظ على مدى الخمسين عامًا الماضية. يمكن للاستجابات المجتمعية السريعة أن تقلل بشكل كبير من النتائج السلبية. – الاتحاد الجيوفيزيائي الأمريكي، 2014 لقد أصبح أفق التوقعات بشأن العواقب الرئيسية لتغير المناخ أقرب مع تزايد الفهم العلمي للعمليات الفيزيائية في السنوات الأخيرة. إن ما بدا قبل عشر سنوات كتهديد مستقبلي للأجيال القادمة، في أواخر القرن الحادي والعشرين وما بعده، أصبح يُفهم بشكل متزايد على أنه قضية فورية وعاجلة، حيث تعاني العديد من البلدان بالفعل من بعض العواقب المدمرة لتغير المناخ (انظر المربع 1). ومن خلال وضع تغير المناخ في إطار التحليل الاقتصادي، يمكننا أن ننظر إلى انبعاثات الغازات الدفيئة، التي تسبب ارتفاع درجة حرارة الكوكب وغير ذلك من التغيرات في أنماط الطقس، كسبب للعوامل الخارجية البيئية وحالة من الإفراط في استخدام موارد الملكية المشتركة. الغلاف الجوي هو مشاعات عالمية يمكن للأفراد والشركات إطلاق التلوث فيه. إن التلوث العالمي يخلق "سوءا عاما يؤثر على الجميع، وهو عامل خارجي سلبي ذو تأثير واسع النطاق. لدى العديد من البلدان قوانين لحماية البيئة تحد من إطلاق ملوثات الهواء المحلية والإقليمية. ومن الناحية الاقتصادية، فإن هذه القوانين تستوعب إلى حد ما العوامل الخارجية المرتبطة بالملوثات المحلية والإقليمية. ولكن حتى وقت قريب، وهو الغاز الرئيسي للاحتباس الحراري (CO2)، كانت هناك ضوابط قليلة لثاني أكسيد الكربون وكانت تركيزات ثاني أكسيد الكربون في الغلاف الجوي ترتفع بشكل مطرد، حيث تجاوزت مؤخراً الحد

. .القياسي للتركيز في الغلاف الجوي وهو 400 جزء في المليون (انظر الشكل 1)

الشكل 1. مستويات ثاني أكسيد الكربون في الغلاف الجوي



المصدر: الإدارة الوطنية للمحيطات والغلاف الجوي، مختبر أبحاث نظام الأرض، قسم الرصد العالمي http://www.esrl.noaa.gov/gmd/ccgg/trends/data.html

ملاحظة: تعني التغيرات الموسمية أن تركيزات ثاني أكسيد الكربون ترتفع وتنخفض كل عام ،مع نمو واضمحلال الغطاء النباتي والنظم البيولوجية الأخرى، ولكن الاتجاه طويل الأجل الذي يقاس بأجزاء في المليون أو جزء في المليون، هو زيادة مطردة بسبب الانبعاثات البشرية لثاني أكسيد الكربون.

لقد بدأت تأثيرات تغير المناخ بالفعل في التأثير على أنماط المناخ (انظر الإطار 1). وتتراوح I هذه الآثار في نطاقها من ذوبان الجليد القطبي إلى ارتفاع مستويات سطح البحر، ومن انهيار النظم البيئية البحرية إلى الإجهاد المائي الشديد المتزايد في أجزاء كبيرة من العالم، ومن أنماط الطقس المتغيرة المصحوبة بنوبات مناخية أكثر تواتراً وعنفا (الأعاصير والفيضانات والجفاف).) لانتشار مسببات الأمراض والأمراض على نطاق أوسع. وتشير تقديرات منظمة الصحة العالمية إلى أن أكثر من 140 ألف شخص يموتون سنويا بالفعل كنتيجة مباشرة لتغير المناخ، وخاصة في أفريقيا وجنوب شرق آسيا. 2

المربع 1. ما هو تأثير الاحتباس الحراري؟ تنتقل أشعة الشمس عبر زجاج الدفيئة لتدفئة الهواء بداخلها، لكن الزجاج يعمل كحاجز أمام هروب الحرارة. وهكذا، فإن النباتات التي تتطلب الطقس الدافئ يمكن زراعتها في المناخات الباردة. تم وصف ظاهرة الاحتباس الحراري العالمية، حيث يعمل الغلاف الجوي للأرض مثل الزجاج في الدفيئة، لأول مرة من قبل العالم الفرنسي جان بابتيست فورييه في عام 1824. وأكسيد (CO2) والميثان تسمح الغيوم وبخار الماء وغازات الدفيئة الطبيعية ثاني أكسيد الكربون والنيتروز والأوزون للإشعاع الشمسي الوارد بالمرور عبرها ولكنها تعمل كحاجز أمام حرارة الأشعة تحت الحمراء الصادرة. وهذا يخلق ظاهرة الاحتباس الحراري الطبيعية، مما يجعل الكوكب مناسبًا للحياة وبدونها، سيكون متوسط درجة حرارة سطح الكوكب حوالي -18 درجة مئوية (0 درجة فهرنهايت)، بدلاً من حوالي 15 درجة مئوية (60 درجة فهرنهايت). "لقد طرح العالم السويدي سفانت أرهينيوس إمكانية حدوث تأثير معزز أو من صنع الإنسان في عام 1896. وافترض أرينيوس أن زيادة حرق الفحم، الذي توازي عملية التصنيع، من شأنه أن يؤدي إلى زيادة تركيز ثاني أكسيد الكربون في الغلاف الجوي. الجو وتدفئة الأرض." (فان خوزر، 1995). منذ زمن أرينيوس، زادت انبعاثات الغازات الدفيئة بشكل كبير. وقد زادت تركيزات ثاني أكسيد الكربون في الغلاف الجوي بنسبة 40% مقارنة بمستويات ما قبل الصناعة. وبالإضافة إلى زيادة حرق الوقود الأحفوري مثل الفحم والنفط والغاز الطبيعي، فإن المواد الكيميائية التي تصنعها الإنسان مثل مركبات الكربون الكلورية فلورية (CFCs) وكذلك انبعاثات الميثان وأكسيد النيتروز من الزراعة والصناعة تساهم في ظاهرة الاحتباس الحراري.

لقد طور العلماء نماذج معقدة لتقدير تأثير انبعاثات غازات الدفيئة الحالية والمستقبلية على المناخ العالمي. ورغم أن قدراً كبيراً من عدم اليقين لا يزال يكتنف هذه النماذج، فقد نشأ إجماع علمي واسع النطاق على أن ظاهرة الاحتباس الحراري التي يحدثها الإنسان تشكل تهديداً كبيراً للنظام البيئي العالمي (IPCC) في جميع تقاريرها إلى. خلصت الهيئة الحكومية الدولية المعنية بتغير المناخ أن تركيزات انبعاثات غازات الدفيئة في الغلاف الجوي العالمي قد زادت بشكل ملحوظ نتيجة للأنشطة البشرية منذ عام 1750. ووفقا للتقرير، فإن "التأثير البشري على النظام المناخي واضح، والانبعاثات البشرية الأخيرة للغازات الدفيئة هي الأعلى في التاريخ... وارتفاع درجة حرارة النظام المناخي أمر لا لبس فيه، ومنذ الخمسينيات من القرن الماضي، أصبحت العديد من التغيرات المرصودة لم يسبق له مثيل على مدى عقود إلى آلاف السنين. لقد ارتفعت درجة حرارة الغلاف الجوي والمحيطات، وتضاءلت كميات الثلوج والجليد، وارتفع مستوى سطح البحر. وتوقعت الهيئة الحكومية الدولية المعنية بتغير المناخ زيادة في متوسط درجات الحرارة العالمية بحلول عام 2100 بما يتراوح بين 1.5 درجة مئوية و4.8 درجة مئوية (بين 2.7 درجة فهرنهايت و8.6 درجة فهرنهايت) فوق مستويات ما قبل الصناعة. وبحلول عام 2015، كان العالم قد وصل بالفعل إلى متوسط زيادة في درجات الحرارة بمقدار درجة واحدة مئوية مقارنة بأوقات ما قبل الثورة الصناعية، وحطمت درجات الحرارة العالمية الأرقام القياسية للحرارة لثلاث سنوات متتالية في 2014 و2015 و2016.

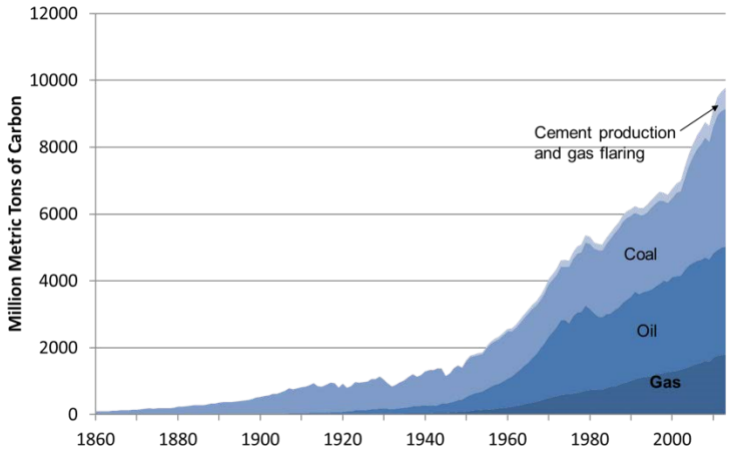
المصادر: فانكهاوزر 1995؛ الهيئة الحكومية الدولية المعنية بتغير المناخ، 2014أ،ب،ج. داميان كارينغتون، "المناخ العالمي على وشك الدخول إلى "منطقة غير مخططة" مع تجاوز ارتفاع درجة الحرارة درجة مئوية واحدة"، صحيفة الغارديان، 9 تشرين الثاني (نوفمبر) 2015. 2017 نيويورك تايمز، 18 كانون الثاني (يناير).

وإذا كان من المرجح أن تكون تأثيرات تغير المناخ شديدة حقا، فمن مصلحة الجميع خفض الانبعاثات ،من أجل الصالح العام. ومن ثم يمكن النظر إلى تغير المناخ باعتباره قضية تتعلق بالصالح العام وتتطلب عملاً تعاونياً لوضع سياسات مناسبة. وفي حالة تغير المناخ، يجب أن يشمل هذا الإجراء جميع أصحاب المصلحة، بما في ذلك الحكومات والمؤسسات العامة وكذلك الشركات الخاصة والمواطنين الأفراد. وبعد عقود من الإخفاقات على المستوى الدولي في التوصل إلى اتفاق يشمل جميع البلدان، تم إحراز تقدم كبير في باريس في ديسمبر/كانون الأول 2015، عندما وقعت 195 دولة، تحت رعاية اتفاقية الأمم المتحدة الإطارية بشأن تغير المناخ، على أول اتفاق عالمي. تهدف إلى إبقاء الزيادة الإجمالية في متوسط درجة الحرارة العالمية أقل من درجتين مئويتين (مقارنة بأوقات ما قبل الصناعة). بالإضافة إلى الإجراءات التي اتخذتها الحكومات الوطنية، تعهدت مئات المدن والمناطق والشركات بإجراء تخفيضات كبيرة في انبعاثات ثاني أكسيد الكربون على مدى السنوات الخمس إلى الخمس والعشرين المقبلة، على الرغم من أن انسحاب الولايات المتحدة في ظل إدارة ترامب قد مما يجعل نجاح الاتفاقية موضع شك. سنعود إلى تفاصيل اتفاق باريس بالتفصيل في القسم الأخير من هذه الوحدة. ولأن ثاني أكسيد الكربون وغيره من الغازات المسببة للانحباس الحراري العالمي تتراكم بشكل مستمر في الغلاف الجوي، فإن تثبيت الانبعاثات أو "تجميدها" لن يحل المشكلة. تستمر الغازات الدفيئة في الغلاف الجوي لعقود أو حتى قرون، وتستمر في التأثير على مناخ الكوكب بأكمله بعد فترة طويلة من انبعاثها. هذه حالة من الملوثات المخزونة. إن التخفيضات الكبيرة في مستويات انبعاثات أحد الملوثات المخزونة هي وحدها التي ستمنع التراكمات المتزايدة باستمرار في الغلاف الجوي. يشكل تطوير السياسات الوطنية والدولية لمكافحة تغير المناخ العالمي تحديا كبيرا، ينطوي على العديد من القضايا العلمية والاقتصادية والاجتماعية.

الاتجاهات في انبعاثات الكربون العالمية

زادت الانبعاثات العالمية لثاني أكسيد الكربون الناتجة عن احتراق الوقود الأحفوري بشكل كبير منذ عام 1950 تقريبًا، كما هو موضح في الشكل 2. وفي عام 2013، بلغ إجمالي انبعاثات الكربون العالمية 9.776 مليار طن أو جيجا طن من الكربون. يعد حرق الفحم مسؤولا حاليا عن نحو 42 في المائة من انبعاثات الكربون العالمية، في حين أن الوقود السائل (النفط في المقام الأول) هو مصدر 33 في المائة أخرى، ويمثل احتراق الغاز الطبيعي 19 في المائة، منها 6 في المائة من إنتاج الأسمنت وحرق الغاز. ويبين الشكل 2 الانبعاثات خلال الفترة 1965-2015، معبرا عنها بمليون طن متري من ثاني أكسيد الكربون.

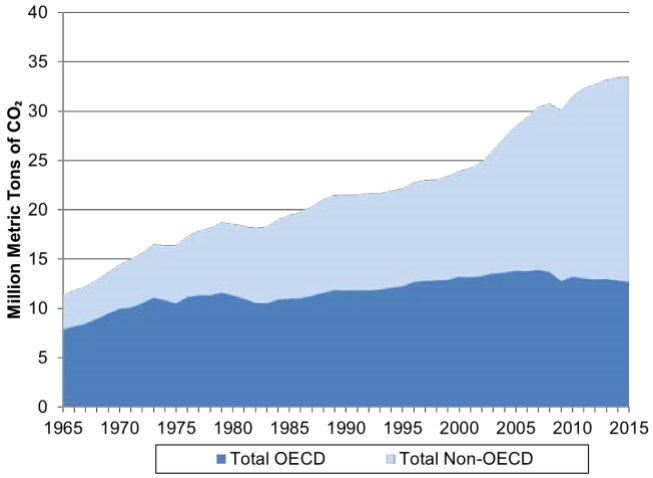
الشكل 2. انبعاثات الكربون الناتجة عن استهلاك الوقود الأحفوري، 1860-2013



المصدر: مركز تحليل معلومات ثاني أكسيد الكربون (CDIAC)
تم الوصول إليه في يونيو 2016. ملحوظة ems. http://cdiac.ornl.gov/ftp/ndp030/global.1751_2013:
الانبعاثات بمليون طن متري من الكربون. للتحويل إلى مليون طن من ثاني أكسيد الكربون، اضرب بـ 3.67

ويركز الشكل 3 على توزيع الانبعاثات بين مجموعتين من البلدان، منظمة التعاون الاقتصادي والتنمية، بما في ذلك البلدان الصناعية في المقام الأول، وبقية العالم، الذي يضم البلدان النامية بما في ذلك الصين. لقد انخفضت حصة الانبعاثات الصادرة عن منظمة التعاون الاقتصادي والتنمية بشكل مضطرد منذ عام 2007، كما زادت حصة العالم النامي بشكل كبير، على الرغم من تباطؤ نموها في الآونة الأخيرة.

الشكل 3. انبعاثات ثاني أكسيد الكربون، 1965-2015، البلدان الصناعية والنامية (مليون طن متري من ثاني أكسيد الكربون)

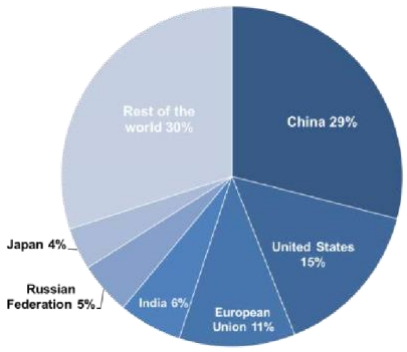


المصدر: إدارة معلومات الطاقة الأمريكية http://www.eia.gov/forecasts/aeo/data/browser/#/?id=10-IEO2016&sourcekey. تم الوصول إليه في يونيو 2016. ملاحظة: OECD = منظمة التعاون الاقتصادي والتنمية (الدول الصناعية في المقام الأول، في حين أن الدول غير الأعضاء في منظمة التعاون الاقتصادي والتنمية هي دول نامية). يقيس المحور الرأسي في الشكل 3 مليون طن متري من ثاني أكسيد الكربون (كمية معينة من الانبعاثات مقاسة بالأطنان).

ترتبط الانبعاثات ارتباطًا وثيقًا بالدورات الاقتصادية، ويظهر الركود في الفترة 2008-2009 بوضوح في الشكل 3. ومن الجدير بالذكر أيضًا الاستقرار الواضح لانبعاثات ثاني أكسيد الكربون في الأعوام 2014 و2015 و2016 بحوالي 33 مليار طن (33) جيجا طن) من ثاني أكسيد الكربون. ويرجع ذلك جزئيا إلى تباطؤ النمو الاقتصادي العالمي (مع انخفاض معدل النمو الاقتصادي في الصين). ويعكس ذلك أيضًا استثمارات الطاقة الجديدة في مصادر الطاقة المتجددة (الشمسية وطاقة الرياح)، التي سيطرت على القدرة الإنتاجية الإضافية للطاقة في السنوات الأخيرة. وقد بدأ هذا الاتجاه في إحداث تأثير كبير في الحد من انبعاثات ثاني أكسيد الكربون من قطاع الطاقة. وفي البلدان المتقدمة، كان هناك تحول سريع من الفحم إلى الغاز الطبيعي والطاقة المتجددة، مما أدى إلى خفض إجمالي انبعاثات ثاني أكسيد الكربون. وفي البلدان النامية، لا يزال إنتاج الفحم يتوسع، ولكن حصة متزايدة من إنتاج الطاقة الجديدة تأتي أيضا من مصادر الطاقة المتجددة. ومن غير الواضح حاليا ما إذا كان استقرار الانبعاثات ظاهرة مؤقتة، أو يشير إلى تحول في اتجاهات إجمالي الانبعاثات.

ويبين الشكل 4 توزيع انبعاثات ثاني أكسيد الكربون بين المصدرين الرئيسيين: الصين (29%)، الولايات المتحدة (15%)، الاتحاد الأوروبي (11%)، الهند (6%)، روسيا (5%)، اليابان (4%). %) وبقية دول العالم (30%). ومن المتوقع أن يأتي معظم النمو المستقبلي في انبعاثات الكربون من البلدان النامية السريعة التوسع مثل الصين والهند. وتجاوزت الصين الولايات المتحدة في عام 2006 كأكبر مصدر لانبعاثات الكربون في العالم.

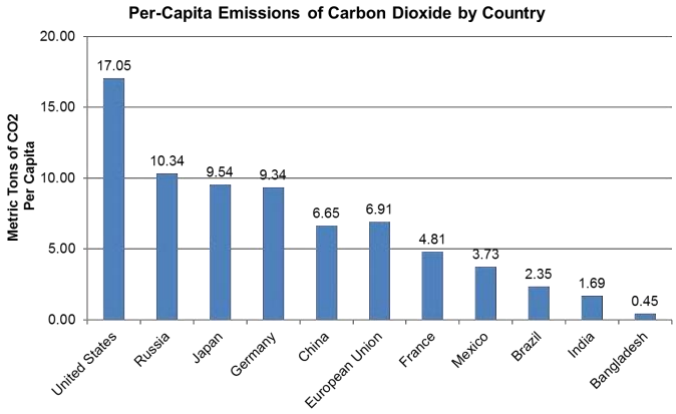
الشكل 4. النسبة المئوية لانبعاثات ثاني أكسيد الكربون العالمية حسب البلد/المنطقة



المصدر: خوسيه ج.ج. أوليفييه وآخرون، مركز الأبحاث المشترك التابع للمفوضية الأوروبية، 2014. "الاتجاهات في انبعاثات ثاني أكسيد الكربون العالمية: تقرير 2014" http://edgar.jrc.ec.europa.eu/news_docs/jrc-2014trends-in-global-co2-emissions -2014-93171 تقرير.

بالإضافة إلى إجمالي الانبعاثات حسب البلد، من المهم النظر في نصيب الفرد من الانبعاثات. إن نصيب الفرد من الانبعاثات أعلى بكثير في البلدان المتقدمة، كما هو مبين في الشكل 5. وقد لوحظت أعلى المعدلات في دول الخليج، مثل قطر (40 طنًا من ثاني أكسيد الكربون للشخص الواحد)، أو الكويت (34 طنًا للشخص الواحد)، أو الإمارات العربية المتحدة (22 طن للشخص الواحد). وتتمتع الولايات المتحدة بأعلى معدل بين الدول الكبرى، حيث يبلغ معدل انبعاثات ثاني أكسيد الكربون لكل شخص 17 طنا متريا. الدول الأخرى ذات الانبعاثات العالية هي أستراليا حيث يبلغ نصيب الفرد 16.7 طنًا وكندا 14.6 طنًا. يبلغ متوسط نصيب الفرد في روسيا 10 أطنان، في حين يتراوح متوسط نصيب الفرد في معظم الدول المتقدمة الأخرى بين 4 إلى 10 أطنان متريةg. وتشهد معظم البلدان النامية معدلات منخفضة لنصيب الفرد، وعادة ما تكون أقل من طنين من ثاني أكسيد الكربون للشخص الواحد، باستثناء الصين، التي ارتفع نصيب الفرد من انبعاثاتها إلى 6.6 طن للشخص الواحد.

الشكل 5. انبعاثات ثاني أكسيد الكربون للفرد، حسب البلد

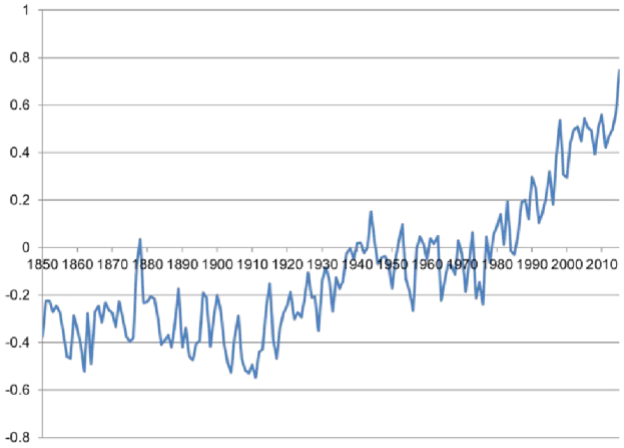


Source: British Petroleum, Energy Charting Tool 2015.

الاتجاهات والتوقعات للمناخ العالمي

لقد ارتفعت درجة حرارة الأرض بشكل كبير منذ أن بدأ الاحتفاظ بسجلات الطقس الموثوقة في منتصف القرن التاسع عشر (الشكل 6). في المائة عام الماضية، ارتفع متوسط درجة الحرارة العالمية بنحو درجة مئوية واحدة، أو حوالي 1.8 درجة فهرنهايت. حدثت أربعة عشر عامًا من الأعوام الخمسة عشر الأكثر دفئًا في سجل الأرصاد الجوية الحديث في الفترة من عام 2000 إلى عام 2015.10 وتم كسر الرقم القياسي لعام 2014 باعتباره العام الأكثر سخونة على الإطلاق بحلول عام 2015، والذي تم كسره بدوره بحلول عام 2016،11 والذي كان أعلى بحوالي 1.1 درجة مئوية مستويات ما قبل العصر الصناعي.[12] تشير الأدلة إلى أن معدل الاحترار، الذي يبلغ حاليًا حوالي 0.13 درجة مئوية لكل عقد، آخذ في التزايد. وتشير تقديرات المختبر الوطني لشمال غرب المحيط الهادئ التابع لوزارة الطاقة الأمريكية إلى أن معدل ارتفاع درجات الحرارة قد يصل إلى 0.25 درجة مئوية لكل عقد بحلول عام 2020.13

الشكل 6. شذوذات درجات الحرارة السنوية العالمية (درجة مئوية)، 1850-2015

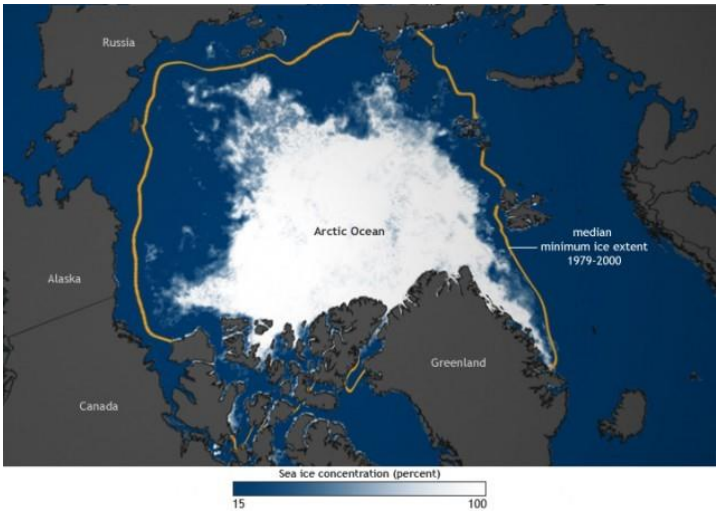


المصدر: CDIAC، شذوذات درجات الحرارة العالمية الشهرية والسنوية (درجات مئوية)، 1850-2015، مقارنة بمتوسط 1961-1990، رسالة قصيرة. http://cdiac.ornl.gov/ftp/trends/temp/jonescru/global. مايو 2016.

ملاحظة: يمثل خط الأساس الصفري متوسط درجة الحرارة العالمية في الفترة من 1961 إلى 1990.لا ترتفع درجة حرارة جميع المناطق بالتساوي. ارتفعت درجة حرارة القطب الشمالي والقارة القطبية الجنوبية بمعدل ضعف المعدل العالمي تقريبًا.14 يعد ذوبان الجليد في القطب الشمالي نتيجة للاحتباس الحراري وسببًا

لمزيد من الاحترار، نظرًا لأن المحيطات المفتوحة تمتص طاقة الشمس أكثر من الجليد، وهي ظاهرة تُعرف باسم انخفاض البياض (انظر الشكل 7).

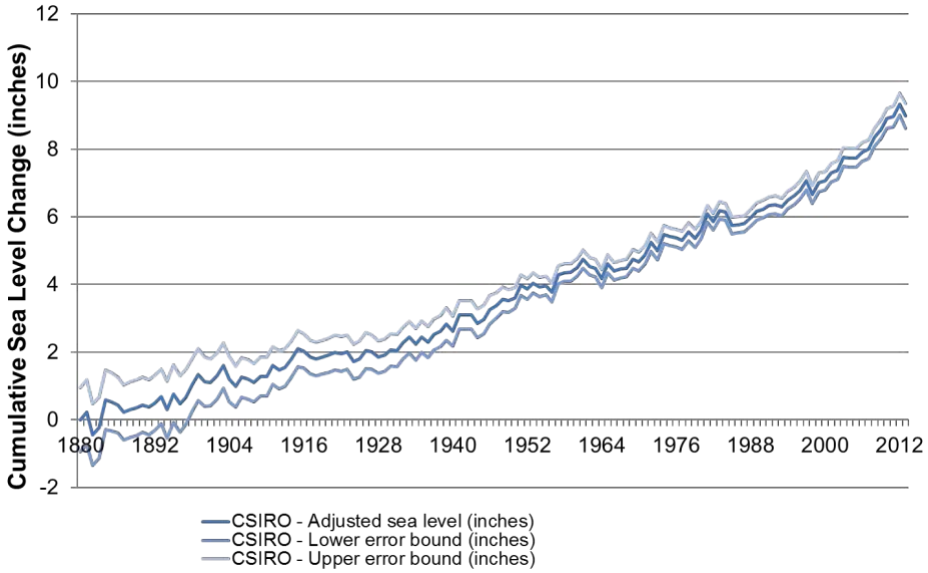
الشكل 7: تقلص الجليد في القطب الشمالي في القطب الشمالي



المصدر: http://thinkprogress.org/climate/2014/02/18/3302341/arctic-sea-ice-melt-oceanabsorts-heat/. الائتمان: المناخ والجليد الثلوج الوطني لبيانات المركز من الرقم هذا على بيانات يعتمد.gov
سنين". https://www.theguardian.com/environment/2015/mar/09/global-warming-set-to-speedup-to-rates-not-seen-for-1000-years 14 2007أ المناخ، بتغير المعنية الدولية الحكومية الهيئة،
الفريق العامل

أساس العلوم الفيزيائية. أنتجت درجات الحرارة الأكثر دفئًا تأثيرات ملحوظة على النظم البيئية. وفي معظم مناطق العالم، تتراجع الأنهار الجليدية. على سبيل المثال، كان لدى متنزه جلاسير الوطني في مونتانا 150 نهرًا جليديًا عندما تم إنشاء المتنزه في عام 1910. واعتبارًا من عام 2010، بقي 25 نهرًا جليديًا فقط، وبحلول عام 2030 من المقدر أن المتنزه لن يحتوي على أي من الأنهار الجليدية التي تحمل الاسم نفسه. ويؤدي تغير المناخ أيضا إلى ارتفاع مستويات سطح البحر. ويعزى ارتفاع مستوى سطح البحر إلى ذوبان الأنهار الجليدية والصفائح الجليدية وإلى حقيقة أن الماء يتمدد عند تسخينه. وفي عام 2012، كان متوسط درجة حرارة المحيطات العالمية أعلى بنحو 0.5 درجة مئوية من متوسط القرن العشرين. أدى الجمع بين المحيطات الأكثر دفئًا وذوبان الجليد إلى ارتفاع مستويات سطح البحر بحوالي 2 ملم سنويًا، وفي عام 2012، كان مستوى سطح البحر بالفعل 9 بوصات (23 سم) فوق مستوى عام 1880. (انظر الشكل 8 والإطار 2).16

الشكل 8. ارتفاع مستوى سطح البحر، 1880-2012



المصدر: الهيئة الحكومية الدولية المعنية بتغير المناخ، 2014أ ملاحظة: يعرض الخط الموجود في المنتصف تقديرًا متوسطًا يعتمد على عدد كبير من مصادر البيانات. تمثل المنطقة المظللة هوامش الخطأ ذات المستوى العالي والمنخفض (أصغر بالنسبة للبيانات الحديثة).

المربع 2. جزر المحيط الهادئ تختفي مع ارتفاع مستوى المحيطات

تواجه جزيرة كيريباتي، وهي عبارة عن مجموعة من 33 جزيرة مرجانية وجزر مرجانية، لا يزيد ارتفاعها عن أقدام فوق مستوى سطح البحر، وتنتشر عبر رقعة من المحيط الهادئ تبلغ مساحتها ضعف مساحة 6 ألاسكا، خطر الغرق في الفترة القادمة. بضعة عقود. وقد اختفت بالفعل اثنتان من جزرها، تيبو تاراوا وأبانويا، نتيجة لارتفاع مستوى سطح البحر. والبعض الآخر، سواء في كيريباتي أو في جزيرة توفالو المجاورة، قد اختفى تقريبًا. وحتى الآن، لم تبتلع البحار بالكامل سوى جزر صغيرة غير مأهولة، ولكن الأزمة تتزايد في جميع أنحاء شواطئ الجزر المرجانية في العالم. يجد شعب توفالو صعوبة في زراعة محاصيلهم لأن ارتفاع منسوب مياه البحار يسمم التربة بالملح. وسوف تصبح العديد من الجزر غير صالحة للسكن قبل وقت طويل من اختفائها فعليا، لأن الملح المستخرج من البحر يلوث إمدادات المياه العذبة الجوفية التي تعتمد عليها. والوضع سيء للغاية لدرجة أن زعماء كيريباتي يفكرون في خطة لنقل جميع السكان البالغ عددهم 110 آلاف نسمة إلى فيجي. وقد انتقل بالفعل سكان بعض القرى. المصادر: مايك آيفز، "أمة نائية في المحيط الهادئ، مهددة بارتفاع منسوب مياه البحار". نيويورك تايمز، 2 يوليو 2016. "مخاوف الاحتباس الحراري في كيريباتي: الأمة بأكملها قد تنتقل إلى فيجي"، أسوشيتد برس، 12 مارس 2012 إن تأثير ارتفاع منسوب مياه البحار يهدد العديد من المناطق الساحلية؛ على سبيل المثال، حددت حكومة الولايات المتحدة 31 بلدة ومدينة في ألاسكا معرضة لخطر وشيك، وتشهد المدن لقد استثمرت في فلوريدا بالفعل أضرارًا كبيرة نتيجة لزيادة كبيرة في الفيضانات. ميامي بيتش لديها بالفعل أكثر من 400 مليون دولار للتعامل مع الفيضانات المتكررة، التي لا تحدث أثناء فترات الأعاصير فحسب، بل أيضًا أثناء "المد والجزر" التي تحدث مرة أو مرتين في السنة (عندما تجتمع مدارات الأرض والقمر والشمس معًا لإنتاج أعظم تأثيرات المد والجزر لهذا العام).18 يشعر سكان العديد من المدن الساحلية التي تعاني من تكرارات أعلى للفيضانات بالقلق من فقدان القيمة العقارية لمنازلهم. هناك آثار كبيرة على صناعة التأمين؛ ووفقاً لرئيس جمعية إعادة التأمين الأمريكية، "من الواضح أن الانحباس الحراري العالمي يمكن أن يؤدي إلى إفلاس هذه الصناعة". تظهر الأبحاث الحديثة التي أجريت على الطبقة الجليدية في غرب القطب الجنوبي أن هذه المنطقة أكبر من ومن المحتمل أن تكون المكسيك عرضة للتفكك بسبب كمية صغيرة نسبياً من الانحباس الحراري العالمي، وقادرة على رفع مستوى سطح البحر بمقدار 12 قدماً أو أكثر في حالة حدوث ذلك. وحتى لو لم يتحقق هذا السيناريو الأكثر تشاؤما، فقد وجد الباحثون أن إجمالي ارتفاع سطح البحر قد يصل إلى 5 إلى 6 أقدام بحلول عام 2100. وسوف تستمر في الزيادة، مع ارتفاع منسوب مياه البحار بأكثر من قدم كل عقد بحلول منتصف القرن الثاني والعشرين. وبالإضافة إلى ارتفاع درجات حرارة المحيطات، فإن زيادة ثاني أكسيد الكربون في الغلاف الجوي تؤدي إلى تحمض المحيطات. وجدت الإدارة الوطنية الأمريكية للمحيطات والغلاف الجوي ما يلي: إن ما يقرب من نصف إجمالي ثاني أكسيد الكربون الذي ينتجه البشر منذ الثورة الصناعية قد ذاب في محيطات العالم. يؤدي هذا الامتصاص إلى إبطاء ظاهرة الاحتباس الحراري، ولكنه يخفض أيضًا درجة الحموضة في المحيطات، مما يجعلها أكثر حمضية. يمكن للمياه الحمضية أن تؤدي إلى تآكل المعادن التي تعتمد عليها العديد من الكائنات البحرية. وجد تقرير صدر عام 2012 في مجلة العلوم أن المحيطات تتحول لبناء أصدافها وهياكلها العظمية الواقية إلى حمضية بما قد يكون أسرع وتيرة منذ 300 مليون سنة، مع عواقب وخيمة محتملة على النظم البيئية البحرية. ومن بين أول ضحايا ارتفاع درجة حرارة المحيطات وتحمضها كانت الشعاب المرجانية، لأن الشعاب المرجانية لا يمكن أن تتشكل إلا ضمن نطاق ضيق من درجات الحرارة وحموضة مياه البحر. شهد عام 2015 رقما قياسيا في موت الشعاب المرجانية، المعروف باسم ابيضاض المرجان، بسبب مزيج من أقوى دورة مناخية لظاهرة النينيو (الاحتباس الحراري في المحيط الهادئ) منذ قرن من الزمان وارتفاع درجات حرارة المياه بالفعل بسبب تغير المناخ. وتتأثر أيضًا مفرخات المحار، التي يشار إليها باسم "طيور الكناري في منجم للفحم" لأنها قد تتنبأ بالتأثيرات على مجموعة واسعة من النظم الإيكولوجية للمحيطات مع زيادة تحمض المحيطات، مما يهدد صناعة المحار في شمال غرب المحيط الهادئ.24 وتتأثر النظم الإيكولوجية الأخرى بشدة أيضًا تتأثر بتغير المناخ (الإطار 3).

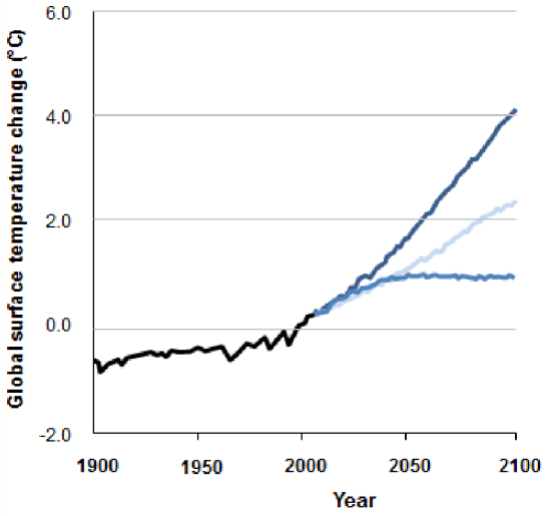
الإطار 3. الغابات وتغير المناخ وحرائق الغابات

كانت حرائق الغابات في السابق تشكل تهديدًا موسميًا في المقام الأول، وتحدث بشكل رئيسي في فصول الصيف الحارة والجافة. أما الآن فهي تحترق على مدار العام تقريبًا في غرب الولايات المتحدة وكندا وأستراليا. وفي مايو 2016، تعرضت ولاية ألبرتا لحرائق غابات امتدت لمسافة أكثر من 350 ميلاً، مما أدى إلى إجلاء سكان مدينة فورت ماكموري البالغ عددهم 80 ألف نسمة، والتي تعرضت لأضرار جسيمة. ويشتبه في أن ظاهرة الاحتباس الحراري هي السبب الرئيسي لزيادة حرائق الغابات. ويضرب ارتفاع درجات الحرارة المناطق الشمالية بشكل خاص: حيث ترتفع درجات الحرارة هناك بشكل أسرع من ارتفاعها على الأرض ككل، ويذوب الغطاء الثلجي قبل الأوان، وتجف الغابات في وقت أبكر مما كانت عليه في الماضي، ويعني الشتاء الجاف رطوبة أقل على الأرض، كما أن الحرارة الزائدة قد تسبب زيادة في البرق الذي غالبا ما يؤدي إلى حرائق الغابات الأكثر تدميرا. وفقًا لأحد علماء البيئة الباحثين في خدمة الغابات بالولايات المتحدة: «في بعض المناطق، لدينا الآن مواسم حرائق على مدار العام، ويمكنك القول إنه لا يمكن أنفقت دائرة الغابات . "أن يصبح الأمر أسوأ من ذلك. لكننا نتوقع من التغييرات أن الأمور يمكن أن تتفاقم في الولايات المتحدة أكثر من نصف ميزانيتها على مكافحة الحرائق في عام 2015، على حساب برامج مثل الحرق الخاضع للرقابة الذي يهدف إلى الحد من مخاطر الحرائق. ويرى العلماء خطرًا يتمثل في أنه إذا استمر تدمير الغابات بسبب الحرائق والحشرات في الارتفاع، فإن الكربون الذي تم احتجازه في الغابات سيعود إلى الغلاف الجوي على شكل ثاني أكسيد الكربون، مما يؤدي إلى تسريع وتيرة الاحتباس الحراري - وهي حلقة ردود فعل خطيرة.

"المصادر: مات ريشتيل وفرناندا سانتوس، "حرائق الغابات، التي كانت تقتصر على موسم واحد، تشتعل مبكرًا ولفترة أطول ،"في منطقة الرمال النفطية في ألبرتا Fort McMurray يفرغ Wildfire" ،نيويورك تايمز، 12 أبريل 2016؛ إيان أوستن .نيويورك تايمز، 3 مايو 2016.

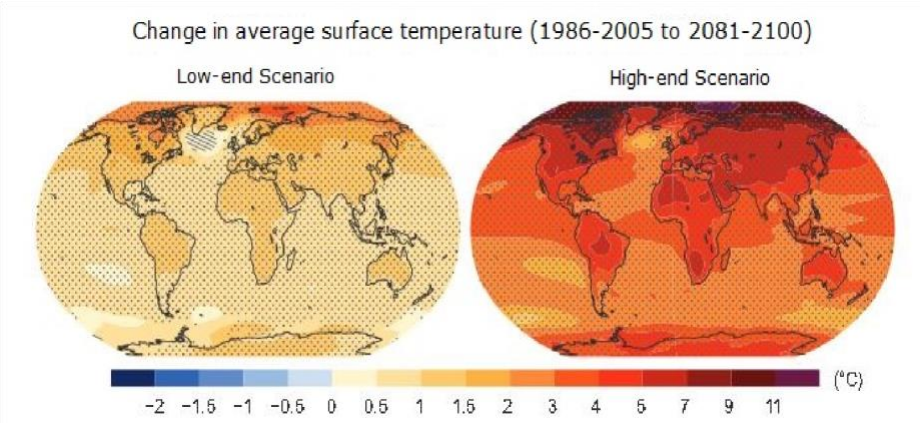
تعتمد التوقعات المستقبلية لتغير المناخ على مسار الانبعاثات المستقبلية. وحتى لو انتهت جميع انبعاثات الغازات الدفيئة اليوم، فإن ارتفاع درجة حرارة العالم سوف يستمر لعقود عديدة، وسوف تستمر التأثيرات مثل ارتفاع مستوى سطح البحر لعدة قرون، لأن التأثيرات البيئية للانبعاثات لا تتحقق على الفور. واستنادًا إلى مجموعة من النماذج ذات افتراضات مختلفة حول الانبعاثات المستقبلية، قدرت الهيئة الحكومية الدولية المعنية بتغير المناخ في تقريرها لعام 2014 أنه خلال القرن الحادي والعشرين سيرتفع متوسط درجات الحرارة العالمية ضمن نطاق من المرجح أن يتراوح بين 1.5 درجة مئوية (3 درجات فهرنهايت) و4.8 درجة مئوية. درجة مئوية (8.6 درجة فهرنهايت) أعلى من مستويات ما قبل الصناعة، ما لم يتم اتخاذ إجراءات سياسية جذرية للحد من الانبعاثات. يظهر نطاق الزيادات المحتملة في درجات الحرارة في الشكلين 9 و10، حيث يوضح الشكل 10 التوزيع المحتمل للزيادات في درجات الحرارة عبر العالم الكوكب لسيناريوهات زيادة درجات الحرارة المنخفضة والعالية.

الشكل 9. اتجاهات درجات الحرارة العالمية، 1900-2100



المصدر: الهيئة الحكومية الدولية المعنية بتغير المناخ 2014ج، ملخص لصانعي السياسات، ص. 13. ملحوظة: يوضح الرسم البياني متوسط التوقعات لسيناريوهات الانبعاثات العالية والمتوسطة والمنخفضة. النطاق المحتمل للزيادات في درجات الحرارة في جميع نماذج الهيئة الحكومية الدولية المعنية بتغير المناخ هو أوسع، ويتراوح بين 0.3 و 4.8 درجة مئوية

الشكل 10. اتجاهات درجات الحرارة العالمية المتوقعة حتى عام 2100 - سيناريوهان

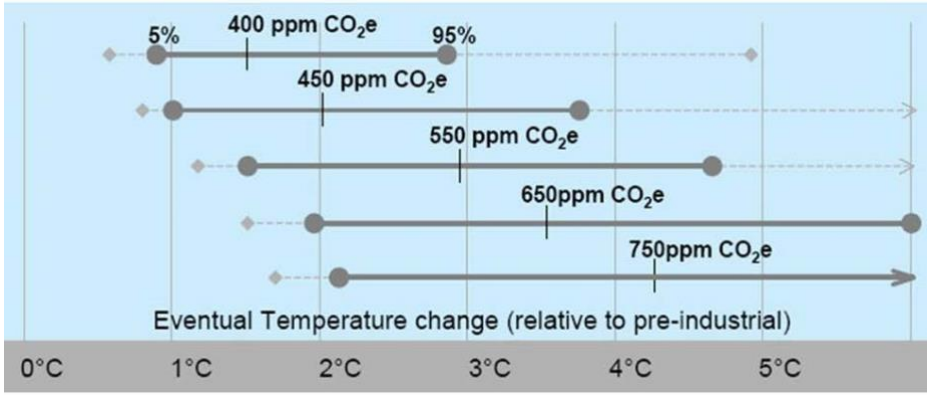


Source: IPCC, 2013

وسيعتمد حجم الاحترار الفعلي والتأثيرات الأخرى على المستوى الذي تستقر عنده تركيزات ثاني أكسيد الكربون والغازات الدفيئة الأخرى في الغلاف الجوي في نهاية المطاف. وكانت مستويات التركيز قبل الثورة الصناعية تبلغ حوالي 280 جزءًا في المليون. أعلنت ورقة علمية صدرت عام 2008 من قبل علماء المناخ جيمس هانسن وراجاندرا باشوري، رئيس الهيئة الحكومية الدولية المعنية بتغير المناخ، ما يلي: "إذا كانت البشرية ترغب في الحفاظ على كوكب مماثل للكوكب الذي تطورت عليه الحضارة والذي تكيفت معه الحياة على الأرض، فإن الأدلة المناخية القديمة ويشير تغير المناخ المستمر إلى أن ثاني أكسيد الكربون سيحتاج إلى 350 جزءًا في المليون

وفي عام 2015، تجاوز تركيز ثاني أكسيد الكربون في الغلاف الجوي مستوى 400 جزء في المليون. وعندما ندرج أيضًا مساهمة الغازات الدفيئة الأخرى، فإن التأثير الإجمالي يعادل تركيز 430 جزءًا في المليون من ثاني أكسيد الكربون أو لم يتم ملاحظة هذا المستوى من مكافئ ثاني أكسيد الكربون منذ .(CO2e) أكثر يشار إليه بمكافئ ثاني أكسيد الكربون أكثر من 800000 عام. ويربط الشكل 11 مستوى تثبيت غازات الدفيئة، مقاسًا بمكافئ ثاني أكسيد الكربون، بالارتفاع الناتج في متوسط درجات الحرارة العالمية، بما في ذلك درجة عدم اليقين. يمثل الشريط الصلب عند كل مستوى من مستويات ثاني أكسيد الكربون نطاقًا من نتائج درجات الحرارة التي من المحتمل أن تحدث باحتمال 90 بالمائة. يمثل الخط المتقطع عند كلا الطرفين النطاق الكامل للنتائج المتوقعة من النماذج المناخية الرئيسية الموجودة. يمثل الخط العمودي حول منتصف كل شريط نقطة المنتصف للتنبؤات المختلفة.

الشكل 11. العلاقة بين مستوى تثبيت الغازات الدفيئة والتغير النهائي في درجة الحرارة



المصدر: ستيرن، 2007. ملاحظة: ثاني أكسيد الكربون = مكافئ ثاني أكسيد الكربون؛ جزء في المليون = أجزاء في المليون.

ويشير هذا التوقع إلى أن تثبيت تركيزات غازات الدفيئة عند 450 جزء في المليون من مكافئ ثاني أكسيد الكربون من المرجح أن يؤدي بنسبة 90 في المائة في النهاية إلى زيادة في درجة الحرارة تتراوح بين 1.0 و3.8 درجة مئوية، مع توقع متوسط قدره درجتين مئويتين واحتمال ضئيل بأن يكون الارتفاع أكثر بكثير. من هذا. ومع وجود تركيزات غازات الدفيئة الحالية في الغلاف الجوي تزيد عن 430 جزءًا في المليون من مكافئ ثاني أكسيد الكربون، فمن المرجح أن يكون من المستحيل تحقيق التثبيت عند 450 جزءًا في المليون دون سحب كبير لثاني أكسيد الكربون من الغلاف الجوي - مما يعني ضمنًا أن صافي الانبعاثات أقل من الصفر في مرحلة ما في المستقبل. وحتى التثبيت عند مستوى 550 جزء في المليون من مكافئ ثاني أكسيد الكربون، وهو ما يعني ضمناً زيادة متوسطة في درجات الحرارة العالمية بنحو 3 درجات مئوية، سوف يتطلب اتخاذ إجراءات سياسية قوية وفورية.

2. التحليل الاقتصادي لتغير المناخ

قام العلماء بوضع نموذج لنتائج التضاعف المتوقع لثاني أكسيد الكربون المتراكم في الغلاف الجوي للأرض. بعض من الآثار السلبية العديدة المتوقعة هي: • فقدان مساحة الأرض، بما في ذلك الشواطئ والأراضي الرطبة، بسبب • ارتفاع مستوى سطح البحر • فقدان الأنواع ومساحة الغابات • انقطاع إمدادات المياه عن المدن والزراعة زيادة تكاليف تكييف الهواء • الأضرار الصحية والوفيات الناجمة عن موجات الحر وانتشار الأمراض الاستوائية فقدان الإنتاج الزراعي بسبب الجفاف قد تشمل بعض النتائج المفيدة ما يلي: • زيادة الإنتاج الزراعي في • المناخات الباردة • انخفاض تكاليف التدفئة • انخفاض عدد الوفيات الناجمة عن التعرض للبرد وسيتم تحقيق النتائج المفيدة المحتملة في المقام الأول في الأجزاء الشمالية من نصف الكرة الشمالي، مثل أيسلندا وسيبيريا وكندا. ومن المرجح أن تشهد معظم بقية أنحاء العالم، وخاصة المناطق الاستوائية وشبه الاستوائية، تأثيرات سلبية شديدة نتيجة لارتفاع درجات الحرارة الإضافية. وفقاً لتوقعات الهيئة الحكومية الدولية المعنية بتغير المناخ، مع زيادة الانبعاثات وارتفاع درجات الحرارة، سوف تشتد التأثيرات السلبية وتتضاءل التأثيرات الإيجابية (انظر الجدول 1). تشمل التأثيرات الأخرى الأقل توقعًا ولكن ربما الأكثر ضررًا والدائمة ما يلي: • اضطراب أنماط الطقس، مع زيادة

وتيرة الأعاصير، الجفاف وغيرها من الظواهر الجوية المتطرفة. • احتمال حدوث انهيار سريع للصفائح الجليدية في جرينلاند وغرب القارة القطبية الجنوبية، الأمر الذي من شأنه أن يرفع مستوى سطح البحر بمقدار 12 مترًا أو أكثر، مما يؤدي إلى غرق السواحل الرئيسية مدن • تغيرات مناخية كبيرة مفاجئة، مثل التحول في تيار الخليج الأطلسي، والتي يمكن أن تغير مناخ أوروبا إلى مناخ ألاسكا. • تأثيرات ردود فعل إيجابية30، مثل زيادة إطلاق ثاني أكسيد الكربون من الجو الدافئ في التندرا القطبية الشمالية، الأمر الذي من شأنه أن يسرع ظاهرة الاحتباس الحراري. وكما هو مبين في الشكل 9، هناك قدر كبير من عدم اليقين بشأن الاحترار العالمي المتوقع في القرن القادم. ويتعين علينا أن نضع مثل هذه الشكوك في الاعتبار بينما نحاول تقييم التأثيرات الاقتصادية لتغير المناخ العالمي.

الجدول 1. الآثار المحتملة لتغير المناخ

نوع التأثير	ارتفاع درجة الحرارة في نهاية المطاف بالنسبة لدرجات الحرارة ما قبل الصناعة 1 درجة مئوية 2 درجة مئوية				
	1°C	2°C	3°C	4°C	5°C
مياه عذبة لوازم	تختفي الأنهار الجليدية الصغيرة في جبال الأنديز، مما يهدد إمدادات المياه لنحو 50 مليون شخص	انخفاض محتمل في إمدادات المياه بنسبة 2030 %بنسبة في بعض المناطق جنوب أفريقيا) والبحر الأبيض (المتوسط	الجفاف الشديد في الجنوب أوروبا كل سنوات ويعاني 10 مليار شخص 4-1 آخرين من نقص المياه	انخفاض محتمل في إمدادات المياه بنسبة 3050% في الجنوب الأفريقي أ	ومن المحتمل أن تختفي الأنهار الجليدية الكبيرة في جبال الهيمالايا، مما يؤثر على ربع مساحة الصين
طعام و زراعة	زيادة متواضعة في الغلة في المناطق ذات درجات الحرارة	انخفاض إنتاجية المحاصيل في المناطق الاستوائية في 510%) أفريقيا)	مليون 550-150 شخص إضافي معرضون لخطر الجوع؛ من المحتمل أن يصل الإنتاج إلى ذروته عند خطوط esالعرض الأعلى	تنخفض الغلة بنسبة 15- في أفريقيا؛ بعض 35% المناطق بأكملها خارج الإنتاج الزراعي	زيادة حموضة المحيطات ربما تقلل من الأرصدة السمكية
بشر صحة	يموت ما لا يقل عن 300 ألف شخص كل عام بسبب أمراض مرتبطة بالمناخ	مليون 60-40 شخص معرضون أكثر للملاريا في أفريقيا	ومن المحتمل أن يموت ما بين 1 إلى 3 ملايين شخص سنوياً بسبب سوء التغذية	ما يصل إلى 80 مليون شخص إضافي معرضون للإصابة بالملاريا في أفريقيا	زيادة الأمراض والأعباء الكبيرة على خدمات الرعاية الصحية

ساحلية المناطق	زيادة الضرر من الفيضانات الساحلية	ما يصل إلى 10 ملايين شخص معرضون للفيضانات الساحلية	ما يصل إلى 170 مليون شخص معرضون للفيضانات الساحلية	ما يصل إلى 300 مليون شخص معرضون للفيضانات الساحلية	ويهدد ارتفاع مستوى سطح البحر المدن الكبرى مثل نيويورك وطوكيو ولندن
النظم البيئية	ما لا يقل عن 10% من أنواع الأراضي مهددة بالانقراض. زيادة خطر حرائق الغابات	من 15-40% الأنواع معرضة للانقراض	من 20-50% الأنواع معرضة لخطر الانقراض؛ بداية محتملة لانهيار غابات الأمازون	خسارة نصف اعشاب التندرا الموجودة فى القطب الشمالى؛ واسع الانتشار فقدان الشعاب المرجانية	انقراضات كبيرة في جميع أنحاء العالم

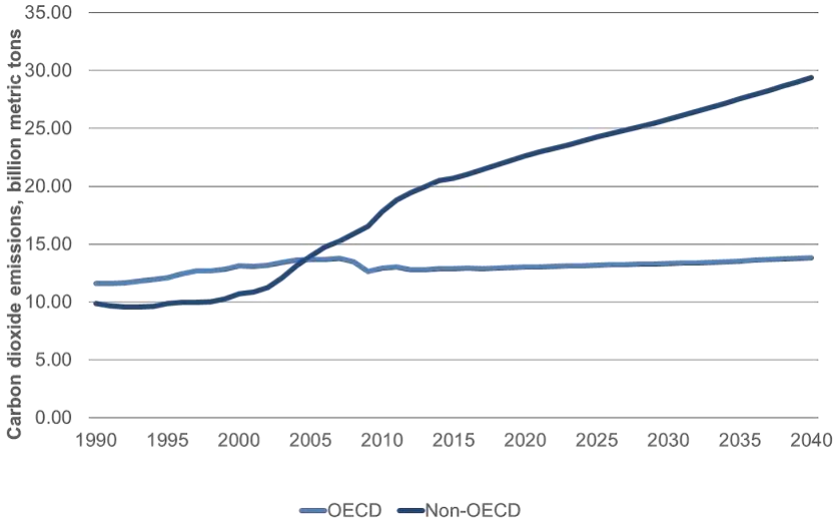
المصادر: الهيئة الحكومية الدولية المعنية بتغير المناخ، 2007ب؛ ستيرن، 2007

.ونظراً لهذه الشكوك، حاول بعض الاقتصاديين وضع تحليل تغير المناخ العالمي في سياق تحليل التكاليف والفوائد وانتقد آخرون هذا النهج باعتباره محاولة لوضع تقييم نقدي لقضايا ذات آثار اجتماعية وسياسية وبيئية تتجاوز بكثير القيمة بالدولار. سندرس أولاً الجهود التي يبذلها الاقتصاديون للتعرف على تأثيرات تغير المناخ العالمي من خلال .تحليل التكلفة والعائد، ثم نعود إلى النقاش حول كيفية تنفيذ سياسات الحد من غازات الدفيئة

دراسات التكلفة والفوائد لتغير المناخ العالمي

وبدون تدخل السياسات، من المتوقع أن تستمر انبعاثات الكربون في سيناريو العمل كالمعتاد في الارتفاع كما هو مبين في الشكل 12. ومع ذلك، تستند هذه التوقعات إلى الاتجاهات الحالية دون النظر في آثار سياسات خفض الانبعاثات المستقبلية. ويتطلب الأمر اتخاذ إجراءات سياسية قوية وفورية أولاً لتحقيق الاستقرار ثم خفض إجمالي انبعاثات ثاني أكسيد الكربون في العقود المقبلة. وهذا هو هدف اتفاق باريس لعام 2015. ولكي نفهم القضايا المرتبطة بخفض الانبعاثات، فيتعين علينا أن ننظر إلى العواقب الاقتصادية المترتبة على مثل هذه المبادرات .السياسية

الشكل 12. انبعاثات ثاني أكسيد الكربون المرتبطة بالطاقة، المتوقعة حتى عام 2040



في المقام الأول الدول (OECD) المصدر: تقييم الأثر البيئي، 2016. ملاحظة: تضم منظمة التعاون الاقتصادي والتنمية بقية دول العالم، بما في ذلك (OECD) الصناعية، بينما تضم الدول غير الأعضاء في منظمة التعاون الاقتصادي والتنمية .الدول النامية بما في ذلك الصين

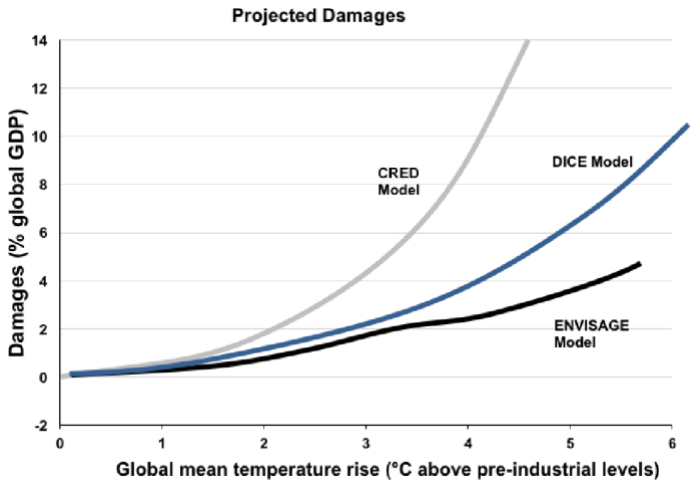
عندما يقوم خبراء الاقتصاد بإجراء تحليل للتكاليف والفوائد، فإنهم يزنون العواقب المترتبة على الزيادة المتوقعة في انبعاثات الكربون في مقابل تكاليف الإجراءات السياسية الحالية لتثبيت استقرار انبعاثات ثاني أكسيد الكربون أو حتى الحد منها. إن اتخاذ إجراءات سياسية قوية لمنع تغير المناخ من شأنه أن يحقق فوائد تعادل قيمة الأضرار التي تم تجنبها. يمكن أيضًا الإشارة إلى فوائد منع الضرر هذه على أنها تكاليف تم تجنبها. ويجب بعد ذلك مقارنة الفوائد المقدرة بتكاليف اتخاذ الإجراء. حاولت العديد من الدراسات الاقتصادية تقدير فوائد وتكاليف الإجراءات السياسية المتعلقة بتغير المناخ. إن محاولة قياس تكاليف تغير المناخ من الناحية النقدية، أو كنسبة من الناتج المحلي الإجمالي، تطرح العديد من المشاكل المتأصلة. وبشكل عام، لا يمكن لهذه الدراسات أن ترصد آثار تغير المناخ إلا بقدر تأثيرها على الإنتاج الاقتصادي، أو خلق تأثيرات غير سوقية يمكن التعبير عنها من الناحية النقدية. من المحتمل أن تكون بعض قطاعات الاقتصاد معرضة لآثار تغير المناخ، بما في ذلك الزراعة والغابات وصيد الأسماك والعقارات الساحلية والنقل. لكن هذه لا تشكل سوى نحو 10% من الناتج المحلي الإجمالي. ويُنظر إلى .المجالات الرئيسية الأخرى، مثل التصنيع والخدمات والتمويل، على أنها تتأثر بشكل طفيف فقط بتغير المناخ .وبالتالي، فإن تقدير تأثيرات الناتج المحلي الإجمالي قد يميل إلى حذف بعض أقوى التأثيرات البيئية لتغير المناخ وفقًا لويليام نوردهاوس، الذي قام بتأليف العديد من دراسات التكلفة والعائد لتغير المناخ على مدار العشرين عامًا الماضية: ... إن الجوانب الأكثر ضرراً لتغير المناخ - في الأنظمة البشرية والطبيعية التي لا يمكن إدارتها أو التحكم فيها - تقع خارج السوق التقليدية. ولقد حددت أربعة مجالات محددة تثير اهتماماً خاصاً: ارتفاع مستوى سطح البحر، وتكثيف الأعاصير، وتحمض المحيطات، وفقدان التنوع البيولوجي. ولكل من هذه التغيرات، فإن حجم التغيرات في الوقت الحاضر يتجاوز قدرة الجهود البشرية على إيقافها. ويجب أن نضيف إلى هذه القائمة المخاوف بشأن تفردات نظام الأرض ونقاط التحول، مثل تلك المرتبطة بالصفائح الجليدية غير المستقرة وعكس اتجاه تيارات المحيط. وليس من الصعب قياس هذه التأثيرات وتحديد حجمها من الناحية الاقتصادية فحسب؛ كما أنه من الصعب إدارتها من منظور اقتصادي وهندسي. ولكن القول بأنه من الصعب قياسها والسيطرة عليها لا يعني أنه ينبغي تجاهلها. بل على العكس تماماً، فهذه الأنظمة هي التي ينبغي دراستها بعناية أكبر لأنها من المرجح أن تكون .الأكثر خطورة على المدى الطويل

يمكن أن يكون تحليل التكلفة والعائد مثيرًا للجدل أيضًا لأنه يحدد قيمة صحة الإنسان وحياته بالدولار. تتبع معظم ،الدراسات ممارسة شائعة تتعلق بالتكلفة والعائد تتمثل في تخصيص قيمة تبلغ حوالي 8 إلى 11 مليون دولار للحياة استنادًا إلى دراسات المبالغ التي يرغب الأشخاص في دفعها لتجنب المخاطر التي تهدد حياتهم، أو الذين هم على

استعداد لقبولها (على سبيل المثال، في الراتب الإضافي للوظائف الخطرة) للقيام بمثل هذه المخاطر. ولكن تميل الدول النامية إلى تحديد قيم أقل للحياة البشرية، نظرًا لأن منهجية تحديد قيمة "الحياة الإحصائية" تعتمد على مقاييس نقدية مثل الدخل والتقييم الطارئ. وبما أن العديد من التأثيرات الأكثر خطورة لتغير المناخ ستحدث في الدول النامية، فمن الواضح أن هذا التحيز في التقييم الاقتصادي يثير قضايا تحليلية وأخلاقية. تعتبر مسألة عدم اليقين أمرا أساسيا في تحليل التكلفة والعائد لتغير المناخ. تميل تقديرات الأضرار إلى إغفال احتمال حدوث عواقب أكثر كارثية يمكن أن تنجم إذا كان اضطراب الطقس أسوأ بكثير مما كان متوقعا. على سبيل المثال، يمكن لإعصار واحد أن يتسبب في خسائر تقدر بعشرات المليارات، بالإضافة إلى خسائر في الأرواح. على سبيل المثال، تسبب إعصار كاترينا في أغسطس/آب 2005 في خسائر تجاوزت 100 مليار دولار، بالإضافة إلى خسائر في الأرواح ،تجاوزت 1800 شخص. تسبب إعصار ساندي، في عام 2012، في أضرار بلغت قيمتها حوالي 50 مليار دولار مما أدى إلى انقطاع التيار الكهربائي عن ما يقرب من 5 ملايين عميل وترك آثارًا دائمة على منطقة واسعة من الشواطئ في نيويورك ونيوجيرسي. وإذا تسبب تغير المناخ في زيادة تواتر الأعاصير الشديدة، فلابد أن تعمل تحليلات التكاليف والفوائد على تقدير تكاليف الدمار بمستوى أعلى كثيرا مما كانت عليه في السابق. ومن القيم الأخرى غير المعروفة - معدلات الإصابة بالأمراض البشرية، أو الخسائر الناجمة عن الأمراض - يمكن أن تكون .هائلة إذا اتسعت الأمراض الاستوائية في نطاقها بشكل كبير بسبب الظروف الجوية الأكثر دفئا

،وقد استخدم العلماء والاقتصاديون نماذج التقييم المتكامل لترجمة سيناريوهات النمو السكاني والاقتصادي" والانبعاثات الناتجة إلى تغيرات في تكوين الغلاف الجوي ومتوسط درجة الحرارة العالمية. ثم تطبق هذه النماذج وظائف الضرر" التي تقارب العلاقات العالمية بين التغيرات في درجات الحرارة والتكاليف الاقتصادية الناجمة" عن تأثيرات مثل التغيرات في مستوى سطح البحر، وتكرار الأعاصير، والإنتاجية الزراعية، ووظيفة النظام البيئي. وأخيرًا، تحاول النماذج ترجمة الأضرار المستقبلية إلى قيمة نقدية حالية. وتؤدي النطاقات الأعلى لتغير درجات الحرارة إلى زيادة كبيرة في تقديرات الأضرار على المستوى العالمي، كما هو مبين في الشكل 13. وتنتج %النماذج المختلفة تقديرات مختلفة للأضرار المستقبلية، وبالتالي تأثيرات مختلفة على الاقتصاد، تتراوح من 2 إلى 10% أو أكثر من الأضرار العالمية. الناتج المحلي الإجمالي سنويا، اعتمادا على ارتفاع متوسط درجات الحرارة العالمية. تُظهر القيم الواردة في الشكل 13 نتائج من ثلاثة نماذج مستخدمة على نطاق واسع مع تقديرات للأضرار تستند إلى تقديرات الاتفاقية الدولية لوقاية النباتات بشأن التغير المحتمل في درجة الحرارة بحلول عام 2100.

الشكل 13. الأضرار المتزايدة الناجمة عن ارتفاع درجات الحرارة العالمية



المصدر: R. Revesz, K. Arrow 2014 .وآخرون، http://www.nature.com/news/global-warmingimprove- Economy-models-of-climate-change-1.14991
ملحوظة: النماذج الثلاثة المختلفة الموضحة في هذا الشكل تعطي تقديرات للأضرار متشابهة عند مستويات تغير درجة (CREDو DICEو ENVISAGE)

الحرارة المنخفضة إلى المعتدلة، ولكنها تتباعد عند المستويات الأعلى، مما يعكس الافتراضات المختلفة المستخدمة في النمذجة.

قد تكون هذه التقديرات النقدية للأضرار موضع جدل وقد لا تغطي جميع جوانب الضرر، ولكن لنفترض أننا قررنا قبولها - على الأقل كتقدير تقريبي. ويتعين علينا بعد ذلك أن نزن الفوائد المقدرة للسياسات الرامية إلى منع تغير المناخ في مقابل تكاليف هذه السياسات. ولتقدير هذه التكاليف، يستخدم الاقتصاديون نماذج توضح كيف تنتج المدخلات مثل العمالة ورأس المال والموارد الناتج الاقتصادي. ومن أجل خفض الانبعاثات الكربونية، يتعين علينا ،أن نعمل على خفض استخدام الوقود الأحفوري، واستبدال مصادر الطاقة الأخرى التي قد تكون أكثر تكلفة والاستثمار في البنية الأساسية الجديدة لمصادر الطاقة المتجددة، وكفاءة استخدام الطاقة، وغير ذلك من استراتيجيات الحد من الكربون. ويحسب الاقتصاديون مقياساً لتكاليف التخفيض الهامشية ــ تكلفة خفض وحدة إضافية واحدة من الكربون ــ لمختلف التدابير مثل كفاءة استخدام الطاقة، أو التحول إلى الطاقة الشمسية وطاقة الرياح، أو تجنب إزالة الغابات. وبعض هذه التدابير منخفضة التكلفة، أو حتى سلبية (بمعنى أنها تجلب فائدة ،اقتصادية صافية بالإضافة إلى مساهمتها في خفض الكربون). ولكن بالنسبة لتخفيض الكربون بشكل كبير للغاية فإن معظم النماذج الاقتصادية تتوقع بعض التأثير السلبي على الناتج المحلي الإجمالي. وقد وجد ملخص لمجموعة واسعة من الدراسات، المعروف بالتحليل التلوي، أن تقديرات التأثير على الناتج المحلي الإجمالي تختلف استنادا إلى افتراضات حول إمكانيات استبدال مصادر الطاقة الجديدة، والتعلم التكنولوجي، والمرونة الاقتصادية. وتشير إحدى التقديرات لتكاليف تحقيق هدف اتفاقية باريس المتمثل في عدم زيادة درجة الحرارة بما يزيد عن درجتين مئويتين إلى أن ذلك سيتطلب نحو 1.5% من الدخل العالمي (ما يعادل نمو الدخل الحقيقي لمدة عام واحد). ولكن هذا يتم في ظل أفضل افتراضات التعاون الدولي. وفي ظل افتراضات أقل ملاءمة، فمن المتوقع أن ترتفع التكاليف إلى أكثر من 4% من الناتج المحلي الإجمالي العالمي. وبالمثل، فإن التحليل التلوي المشار إليه أعلاه يخلص إلى أن التكاليف يمكن أن تتراوح من 3.4% من الناتج المحلي الإجمالي العالمي في ظل افتراضات أسوأ الحالات إلى زيادة في الناتج المحلي الإجمالي العالمي بنسبة 3.9% باستخدام افتراضات أفضل الحالات.

فإذا كانت التكاليف والفوائد المترتبة على سياسة صارمة لخفض الكربون في حدود عدة في المائة من الناتج المحلي الإجمالي، فكيف يمكننا أن نقرر ماذا نفعل؟ يعتمد الكثير على تقييمنا للتكاليف والفوائد المستقبلية. ويجب تحمل تكاليف اتخاذ الإجراءات اليوم أو في المستقبل القريب. إن فوائد اتخاذ الإجراءات (تجنب تكاليف الأضرار) ستستمر في المستقبل. مهمتنا إذن هي أن نقرر اليوم كيفية الموازنة بين هذه التكاليف والفوائد المستقبلية. يقوم الاقتصاديون بتقييم التكاليف والفوائد المستقبلية باستخدام معدل الخصم. وتضيف المشاكل وأحكام القيمة الضمنية المرتبطة بالخصم إلى حالات عدم اليقين التي لاحظناها بالفعل في تقييم التكاليف والفوائد. ويشير هذا إلى أننا يجب أن ننظر في بعض الأساليب البديلة، بما في ذلك التقنيات التي يمكن أن تتضمن التكاليف والفوائد البيئية والاقتصادية. لقد توصلت الدراسات الاقتصادية التي تتناول تحليل التكلفة والعائد لتغير المناخ إلى استنتاجات مختلفة للغاية حول السياسة. وفقا للدراسات المبكرة (2000 إلى التي أجراها ويليام نوردهاوس وزملاؤه، فإن السياسات الاقتصادية "المثلى" لإبطاء تغير المناخ (2008 تنطوي على معدلات متواضعة لخفض الانبعاثات على المدى القريب، تليها تخفيضات متزايدة على المدى المتوسط والطويل، يشار إليها أحيانا باسم باعتبارها "تكثيفًا" تدريجيًا لسياسة المناخ. توصلت معظم الدراسات الاقتصادية المبكرة حول تغير المناخ إلى استنتاجات مشابهة لتلك التي توصلت إليها دراسات نوردهاوس، على الرغم من أن القليل منها أوصى باتخاذ إجراءات أكثر جذرية. لقد تغيرت المناقشة حول اقتصاديات تغير المناخ بشكل كبير في عام 2007، عندما أصدر نيكولاس ستيرن، كبير الاقتصاديين السابق في البنك الدولي، تقريراً من 700 صفحة، برعاية الحكومة البريطانية، بعنوان "مراجعة ستيرن لاقتصاديات تغير المناخ". في حين أن معظم التحليلات الاقتصادية السابقة لتغير المناخ اقترحت استجابات سياسية متواضعة نسبيا، فإن مراجعة ستيرن أوصت بشدة باتخاذ إجراءات سياسية فورية وجوهرية:

والآن أصبحت الأدلة العلمية دامغة: فتغير المناخ يشكل تهديداً عالمياً خطيراً، ويتطلب استجابة عالمية عاجلة. قامت هذه المراجعة بتقييم مجموعة واسعة من الأدلة حول تأثيرات تغير المناخ والتكاليف الاقتصادية، واستخدمت عددًا من التقنيات المختلفة لتقييم التكاليف والمخاطر. ومن كل هذه وجهات النظر، فإن الأدلة التي جمعتها المراجعة تؤدي إلى استنتاج بسيط: إن فوائد العمل القوي والمبكر تفوق بكثير التكاليف الاقتصادية المترتبة على عدم التحرك. وباستخدام نتائج النماذج الاقتصادية الرسمية، تشير تقديرات المراجعة إلى أنه إذا لم نتحرك، فإن التكاليف والمخاطر الإجمالية لتغير المناخ سوف تعادل خسارة ما لا يقل عن 5% من الناتج المحلي الإجمالي العالمي كل عام، الآن وإلى الأبد. وإذا أخذنا في الاعتبار مجموعة واسعة من المخاطر والآثار، فقد ترتفع تقديرات الأضرار إلى 20% من الناتج المحلي الإجمالي أو أكثر. وفي المقابل، فإن تكاليف العمل الحد من انبعاثات الغازات الدفيئة لتجنب أسوأ آثار تغير المناخ - يمكن أن تقتصر على حوالي 1 في المائة من الناتج المحلي الإجمالي العالمي كل عام. وتدل نسبة الفائدة إلى التكلفة هذه التي لا تقل عن 5:1 على وجود حجة اقتصادية قوية لاتخاذ إجراءات سياسية فورية وكبيرة، بدلاً من "تكثيف" أبطأ. ما الذي يفسر الفرق بين هذين النهجين في التحليل الاقتصادي لتغير المناخ؟ إحدى القضايا الرئيسية هي اختيار معدل الخصم لاستخدامه في تقييم التكاليف والفوائد المستقبلية. تعتمد القيمة الحالية لتدفق طويل الأجل من الفوائد أو التكاليف على معدل الخصم. سيؤدي معدل الخصم المرتفع إلى تقييم حالي منخفض (PV) للمنافع التي تكون بشكل أساسي على المدى الطويل، وتقييم حالي مرتفع للتكاليف قصيرة المدى. وفي المقابل، فإن معدل الخصم المنخفض سيؤدي إلى تقييم حالي أعلى للمنافع طويلة الأجل. وبالتالي فإن القيمة الحالية الصافية المقدرة لسياسة التخفيض الصارمة ستكون أعلى بكثير إذا اخترنا معدل خصم منخفض (الإطار 4). وفي حين استخدمت دراستا ستيرن ونوردهاوس المنهجية الاقتصادية القياسية، فإن نهج ستيرن يعطي وزنًا أكبر بكثير للتأثيرات البيئية والاقتصادية طويلة المدى. تستخدم مراجعة ستيرن معدل خصم منخفض يبلغ 1.4 بالمائة لموازنة التكاليف الحالية والمستقبلية. وبالتالي، فرغم أن تكاليف العمل العدواني تبدو أعلى من الفوائد لعدة عقود من الزمن، فإن الأضرار الطويلة الأجل المحتملة المرتفعة تؤثر على الميزان لصالح العمل العدواني اليوم. وهذه الأمور هامة بالنسبة لآثارها النقدية وغير النقدية. وعلى المدى الطويل، سيكون للضرر الذي يلحق بالبيئة نتيجة لتغير المناخ العالمي آثار سلبية كبيرة على الاقتصاد أيضا. ولكن استخدام معدل خصم قياسي له أثر في خفض القيمة الحالية للأضرار الكبيرة المستقبلية طويلة الأجل التي لا تعتبر ذات أهمية نسبية (انظر الإطار 4).

المربع 4. الخصم

التي تحدث في سنوات في المستقبل $X يحسب الاقتصاديون القيمة الحالية للتكلفة أو المنفعة هو معدل الخصم لذلك، على سبيل r حيث n(r + 1) / $X = ($X) باستخدام المعادلة: القيمة الحالية المثال، إذا أردنا تحديد القيمة الحالية لمنفعة قدرها 50000 دولار تم الحصول عليها بعد 25 عامًا من الآن بمعدل خصم قدره 5٪، فسيكون: 50,000 دولار أمريكي / (1 + 0.05)25 = 14,765 دولار أمريكي يصبح اختيار سعر الخصم أكثر أهمية مع مرور الوقت. ويبين الشكل 14 القيمة الحالية البالغة 100 دولار من التكاليف أو الفوائد التي تم تحقيقها في أوقات مختلفة لفترات زمنية مختلفة في المستقبل باستخدام العديد من معدلات الخصم التي تم استخدامها في تحليلات تكاليف وفوائد تغير المناخ. ونحن نرى أنه عند استخدام معدل خصم قدره 5% أو 7%، فإن التكاليف أو الفوائد التي تحدث بعد 100 عام في المستقبل تصبح ضئيلة للغاية من حيث القيمة الحالية ـ حيث تبلغ قيمتها 0.76 دولار و0.12 دولار على التوالي. وحتى مع معدل خصم قدره 3%، فإن قيمة دولار تبلغ 5.20 دولار فقط بعد 100 عام. ولكن عندما يكون معدل الخصم 1%، فإن 100

التأثيرات بعد 100 عام في المستقبل تظل كبيرة ـ تبلغ قيمتها نحو 37 دولاراً بالقيمة الحالية؛ وحتى عند الخصم على مدى فترة 200 عام، فإن القيمة الحالية لا تزال قريبة من 20 دولارًا.

الشكل 14: القيمة الحالية للتكلفة أو المنفعة المستقبلية البالغة 100 دولار: آثار معدلات الخصم المختلف

- هناك اختلاف آخر بين الدراستين يتعلق بمعاملتهما لعدم اليقين. ويعطي نهج ستيرن وزنا أكبر للتأثيرات غير المؤكدة، ولكنها قد تكون كارثية. ويعكس هذا تطبيق مبدأ احترازي: إذا كانت نتيجة معينة قد تكون كارثية، حتى وإن كانت تبدو غير محتملة، فلابد من اتخاذ تدابير قوية لتجنبها. وهذا المبدأ، الذي أصبح مستخدمًا على نطاق أوسع في إدارة المخاطر البيئية، له أهمية خاصة بالنسبة لتغير المناخ العالمي بسبب العديد من النتائج غير المعروفة ولكنها قد تكون كارثية والتي قد ترتبط باستمرار تراكم غازات الدفيئة (انظر الإطار 5). تشير دراسة أجراها مارتن فايتسمان إلى أن النظر الجاد في احتمالات تغير المناخ الكارثي يمكن أن يفوق تأثيرات التخفيض، مما يشير إلى استثمار كبير في التخفيف اليوم لتجنب احتمال وقوع كارثة في المستقبل - على نفس مبدأ التأمين ضد الاحتمال غير المؤكد لحدوث كارثة. حريق المنزل في المستقبل. ويتعلق مجال الاختلاف الثالث بتقييم التكاليف الاقتصادية للعمل على التخفيف من تغير المناخ. إن التدابير المتخذة لمنع تغير المناخ العالمي سوف تخلف تأثيرات اقتصادية على الناتج المحلي الإجمالي، والاستهلاك، وتشغيل العمالة، وهو ما يفسر إحجام الحكومات عن اتخاذ تدابير جذرية للحد بشكل كبير من انبعاثات ثاني أكسيد الكربون. لكن هذه التأثيرات لن تكون كلها سلبية. أجرى استعراض ستيرن مراجعة شاملة للنماذج الاقتصادية لتكاليف خفض الكربون. تعتمد تقديرات التكلفة هذه على افتراضات النمذجة المستخدمة. وكما ذكر أعلاه، فإن التكاليف المتوقعة لتثبيت تراكمات ثاني أكسيد الكربون في الغلاف الجوي عند مستوى 450 جزء في المليون يمكن أن تتراوح بين انخفاض بنسبة 3.4 في المائة إلى زيادة بنسبة 3.9 في المائة في الناتج المحلي الإجمالي العالمي. تعتمد النتائج على مجموعة • من الافتراضات بما في ذلك: • كفاءة أو عدم كفاءة الاستجابات الاقتصادية لإشارات أسعار الطاقة مدى توفر تكنولوجيات الطاقة "المساندة" غير الكربونية • ما إذا كان بوسع البلدان أن تتاجر بالخيارات الأقل تكلفة لخفض الكربون باستخدام نظام التصاريح القابلة للتداول. • ما إذا كانت عائدات الضرائب على الوقود الكربوني تستخدم لخفض الضرائب الأخرى
- ،ما إذا كانت الفوائد الخارجية لخفض الكربون، بما في ذلك الحد من تلوث الهواء على مستوى الأرض تؤخذ في الاعتبار.

المربع 5. النقاط الحرجة والمفاجآت المناخية

ويتعلق قدر كبير من عدم اليقين في توقعات تغير المناخ بمسألة حلقات ردود الفعل. تحدث حلقة التغذية الراجعة عندما يؤدي تغير أولي، مثل ارتفاع درجات الحرارة، إلى تغييرات في العمليات الفيزيائية، مما يؤدي بعد ذلك إلى تضخيم التأثير الأولي أو تقليله (الاستجابة التي تزيد من التأثير الأصلي تسمى حلقة ردود فعل إيجابية؛ والاستجابة التي تقللها تسمى حلقة ردود فعل إيجابية). حلقة ردود فعل سلبية). مثال على حلقة ردود الفعل الإيجابية هو عندما يؤدي الاحترار إلى زيادة ذوبان التندرا في القطب الشمالي، مما يؤدي إلى إطلاق ثاني أكسيد الكربون والميثان، مما يزيد من تراكمات غازات الدفيئة في الغلاف الجوي ويسرع عملية الاحترار. ونتيجة لدوائر ردود الفعل المختلفة المرتبطة بتغير المناخ، تشير الأدلة الحديثة إلى أن الانحباس الحراري يحدث بسرعة أكبر مما توقعه أغلب العلماء قبل خمس أو عشر سنوات فقط. ويؤدي هذا إلى زيادة القلق بشأن احتمال حدوث حلقات ردود فعل "جامحة"، مما قد يؤدي إلى تغييرات جذرية في فترة قصيرة. ويشير بعض العلماء إلى أننا قد نكون قريبين من نقاط تحول مناخية معينة، والتي، بمجرد تجاوزها، تشكل احتمالية حدوث تأثيرات كارثية. ولعل الاحتمال الأكثر إثارة للقلق هو الانهيار السريع للصفائح الجليدية في جرينلاند وغرب القارة القطبية الجنوبية. وتشير دراسة أجريت عام 2016 إلى أن أجزاء كبيرة من الجليد القطبي يمكن أن تذوب

خلال الخمسين عامًا القادمة، مما يتسبب في ارتفاع مستوى سطح البحر بمقدار 20 إلى 30 قدمًا. تشير الدراسة إلى أن المياه العذبة المتدفقة إلى المحيطات نتيجة ذوبان الجليد الأرضي ستطلق حلقة ردود فعل من شأنها أن تتسبب في تفكك سريع للصفائح الجليدية في جرينلاند والقارة القطبية الجنوبية. "وهذا يعني خسارة جميع المدن الساحلية، ومعظم المدن الكبرى في العالم وكل تاريخها"، وفقًا للمؤلف الرئيسي الدكتور جيمس هانسن. بينما تعيد سيناريوهات الذوبان السريع

وقد تم تحديد حلقات ردود فعل خطيرة أخرى مثيرة للجدل. وفي دراسات حديثة، وجد العلماء أن انبعاثات غاز الميثان من القطب الشمالي ارتفعت بنحو الثلث خلال خمس سنوات فقط. ويأتي هذا الاكتشاف في أعقاب سلسلة من التقارير الواردة من المنطقة في السنوات الأخيرة والتي تفيد بأن التربة المستنقعية المتجمدة سابقًا تذوب وتطلق غاز الميثان بكميات أكبر. تحبس مثل هذه التربة في القطب الشمالي حاليًا مليارات الأطنان من غاز الميثان، وهو غاز دفيئة أقوى بكثير من ثاني أكسيد الكربون، مما دفع بعض العلماء إلى وصف ذوبان التربة الصقيعية بأنه قنبلة موقوتة يمكن أن تطغى على الجهود المبذولة لمعالجة تغير المناخ. وهم يخشون أن يؤدي ارتفاع درجة الحرارة الناجم عن زيادة انبعاثات غاز الميثان إلى إطلاق المزيد من غاز الميثان ويدخل المنطقة في دورة مدمرة تجبر درجات الحرارة على الارتفاع بسرعة أكبر مما كان متوقعا.

Sources: المصادر: ديفيد آدم، "تسرب الميثان من التربة الصقيعية في القطب الشمالي بمستويات قياسية، تظهر الأرقام" The Guardian، جاردیان، 2010، www.guardian.co.uk/environment/2010/jan/14/arctic-permafrost-methane/ ؛ جاستن جيليس، "العلماء يحذرون من تحول مناخي محفوف بالمخاطر خلال عقود، وليس قرون"، نيويورك تايمز 22 مارس 2016؛ ديكونتو وبولارد، 2016.

واعتماداً على الافتراضات التي يتم وضعها، يمكن أن تتراوح سياسات الحد من الانبعاثات من النهج البسيط المتمثل في خفض الانبعاثات بشكل طفيف إلى التخفيض الجذري لانبعاثات ثاني أكسيد الكربون بنسبة 80 في المائة أو أكثر. ولكن في السنوات الأخيرة، تقاربت مواقف نوردهاوس وشتيرن. ويستخدم نوردهاوس، في أحدث منشوراته، نسخة محدثة من نموذجه (DICE-2013) الذي يتوقع زيادة في درجات الحرارة بمقدار 3 درجات مئوية أو أكثر بحلول عام 2100. وهو يدعو إلى فرض ضريبة على الكربون بقيمة 21 دولارا عن كل طن من ثاني أكسيد الكربون المنبعث، وترتفع بسرعة بمرور الوقت. يقترح تعديل نموذجه بواسطة سيمون ديتز ونيكولاس ستيرن، مع الأخذ في الاعتبار الأضرار المتزايدة وإمكانية "نقاط التحول" المناخية (انظر الإطار 5)، فرض ضرائب على الكربون أعلى مرتين إلى سبع مرات، للحد من تراكمات ثاني أكسيد الكربون في الغلاف الجوي إلى 425 -500 جزء في المليون وتغير درجة الحرارة العالمية إلى 1.5 إلى 2.0 درجة مئوية. ومن ثم، فبينما لا تزال هناك اختلافات، فإن الاتجاه عمومًا يتجه نحو توصيات باتخاذ تدابير سياسية أكثر جذرية: في حين أن نوردهاوس وستيرن قد يختلفان حول ما إذا كان ينبغي فرض ضريبة الكربون إما على شكل منحدر أو تل شديد الانحدار، وعلى معدل الخصم المناسب لتحويل الأضرار المستقبلية المتوقعة إلى الشروط الحالية، فإن هذا النقاش يصبح أقل أهمية بشكل تدريجي حيث يتفق كلاهما على أن وسوف تزداد حدة هذا المنحدر، مع تطور النموذج ومع المزيد من التأخير في فرض ضريبة الكربون.

تغير المناخ وعدم المساواة

إن آثار تغير المناخ ستقع بشكل أكبر على فقراء العالم. وقد تواجه مناطق مثل أفريقيا إنتاجاً غذائياً ضعيفاً للغاية ونقصاً في المياه، في حين أن المناطق الساحلية في جنوب وشرق وجنوب شرق آسيا ستكون معرضة بشدة لخطر الفيضانات. وستشهد أمريكا اللاتينية الاستوائية أضرارا بالغابات والمناطق الزراعية بسبب جفاف المناخ، بينما في أمريكا الجنوبية ستؤثر التغيرات في أنماط هطول الأمطار واختفاء الأنهار الجليدية بشكل كبير على توافر المياه. وفي حين قد تمتلك البلدان الأكثر ثراءً الموارد الاقتصادية اللازمة للتكيف مع العديد من التأثيرات المترتبة على تغير المناخ، فإن البلدان الأكثر فقراً لن تكون قادرة على تنفيذ التدابير الوقائية، وخاصة تلك التي تعتمد على أحدث التكنولوجيات. استخدمت الدراسات الحديثة نماذج التأثيرات الموزعة جغرافيًا لتقدير تأثيرات تغير المناخ عبر المجال العالمي. وكما يشير الجدول 2، فإن عدد ضحايا الفيضانات الساحلية والسكان المعرضين لخطر الجوع بحلول عام 2080 سيكون أكبر نسبيا في أفريقيا وأمريكا الجنوبية وآسيا، حيث تقع معظم البلدان النامية. وتوقعت

ما يلي: إذا استمرت المجتمعات في العمل كما كانت في الماضي القريب، فمن Nature دراسة نشرت في مجلة المتوقع أن يعيد تغير المناخ تشكيل الاقتصاد العالمي من خلال خفض الناتج الاقتصادي العالمي بشكل كبير وربما تضخيم التفاوتات الاقتصادية العالمية القائمة، مقارنة بعالم خال من تغير المناخ. وقد تؤدي عمليات التكيف، مثل الابتكار غير المسبوق أو الاستثمارات الدفاعية، إلى الحد من هذه التأثيرات، ولكن الصراع الاجتماعي أو تعطل التجارة قد يؤدي إلى تفاقمها. وبشكل عام، تشير الدراسة إلى أن "احتمال حدوث خسائر عالمية كبيرة كبير"، حيث تتحمل البلدان الأكثر فقراً أكبر الخسائر النسبية.

الجدول 2. تأثيرات تغير المناخ على المستوى الإقليمي بحلول عام 2080 (ملايين الأشخاص

منطقة	السكان الذين يعيشون في مستجمعات المياه مع زيادة الضغط على الموارد المائية	زيادة في متوسط العدد السنوي لضحايا الفيضانات الساحلية	عدد إضافي من السكان *المعرضين لخطر الجوع	
أوروبا	382–493	0.3		0
آسيا	892–1197	14.7	266	(–21)
أمريكا الشمالية	110–145	0.1		0
أمريكا الجنوبية	430–469	0.4	85	(–4)
أفريقيا	691–909	12.8	200	(–2)

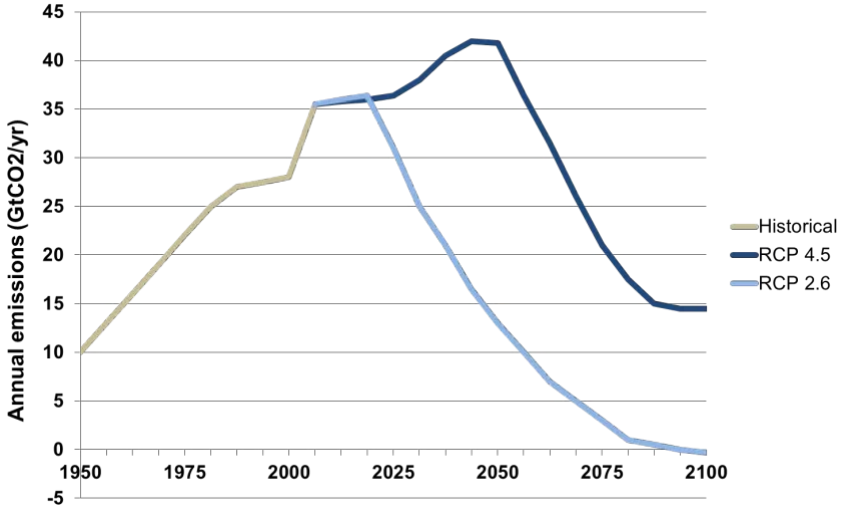
*تفترض الأرقام الواردة بين قوسين أقصى تأثير لإثراء ثاني أكسيد الكربون المصدر: مقتبس من الهيئة الحكومية الدولية المعنية بتغير المناخ، 2007ب. ملاحظة: تستند هذه التقديرات إلى سيناريو IPCC A2). ويتمثل تأثير ثاني أكسيد الكربون في زيادة إنتاجية النبات، وهو ما قد يؤدي في الواقع، في أقصى تقديراته، إلى خفض عدد الأشخاص المعرضين لخطر الجوع.

إن الطريقة التي يدمج بها الاقتصاديون مسألة عدم المساواة في تحليلاتهم يمكن أن يكون لها تأثير كبير على توصياتهم المتعلقة بالسياسات. إذا تم تقييم جميع التكاليف من الناحية المالية، فمن المرجح أن تكون خسارة 10% من الناتج المحلي الإجمالي في دولة فقيرة، على سبيل المثال، أقل بكثير، مقاسة بالدولار، من خسارة 3% من الناتج المحلي الإجمالي في دولة غنية. وبالتالي فإن الأضرار الناجمة عن تغير المناخ في البلدان الفقيرة، والتي قد تكون كبيرة كنسبة من الناتج المحلي الإجمالي، لن تحظى بوزن يذكر نسبيا لأن الخسائر صغيرة نسبيا بالقيمة الدولارية. تؤكد مراجعة ستيرن أن التأثيرات غير المتناسبة لتغير المناخ على أفقر سكان العالم يجب أن تزيد من التكاليف المقدرة لتغير المناخ. ويقدر ستيرن أنه بدون تأثيرات عدم المساواة، فإن تكاليف سيناريو العمل كالمعتاد يمكن أن تصل إلى 11% إلى 14% من الناتج المحلي الإجمالي العالمي سنويا. وبقياس التأثيرات على فقراء العالم بشكل أكبر، نحصل على تقدير التكلفة بنسبة 20% من الناتج المحلي الإجمالي العالمي. إن الافتراضات حول الطريقة الصحيحة لتقييم التكاليف والفوائد الاجتماعية والبيئية يمكن أن تحدث فرقًا كبيرًا في توصيات السياسة. وكما رأينا، توصي تحليلات التكاليف والفوائد في الأغلب باتخاذ إجراءات للتخفيف من تغير المناخ، ولكنها تختلف في قوة توصياتها استناداً إلى افتراضات حول المخاطر والخصم. قد يزعم الاقتصادي ذو التوجه البيئي أن القضية الأساسية تتلخص في استقرار الأنظمة الفيزيائية والإيكولوجية التي تعمل كآلية للتحكم في مناخ الكوكب. وهذا يعني أن تثبيت استقرار المناخ، وليس التحسين الاقتصادي للتكاليف والفوائد، ينبغي أن يكون الهدف. إن تثبيت انبعاثات الغازات

الدفيئة ليس كافيا؛ وبمعدل الانبعاثات الحالي، سيستمر ثاني أكسيد الكربون والغازات الدفيئة الأخرى في التراكم في الغلاف الجوي. إن تثبيت تراكمات غازات الدفيئة سوف يتطلب خفضاً كبيراً تحت مستويات الانبعاثات الحالية. ويبين الشكل 15 تقديرات الفريق الحكومي الدولي المعني بتغير المناخ للتخفيضات المطلوبة في انبعاثات ثاني أكسيد الكربون لتحقيق الاستقرار عند مستويات 430 - 480 م و530 - 580 جزء في المليون من ثاني أكسيد الكربون في الغلاف الجوي. لاحظ أنه بالنسبة لمستوى التثبيت الأدنى فإن إجمالي الانبعاثات لابد أن ينخفض بشكل أساسي إلى الصِفر في النصف الثاني من القرن الحادي والعشرين. ومن غير المرجح أن يتحقق هذا إلا من خلال زيادة الامتصاص العالمي لثاني أكسيد الكربون بشكل كبير، وربما من خلال توسيع الغابات وتعديل التقنيات الزراعية بالإضافة إلى التخفيضات الجذرية في الانبعاثات.

ومن الواضح أن التخفيضات بهذا الحجم ستعني ضمناً تغييرات كبيرة في الطريقة التي يستخدم بها الاقتصاد العالمي الطاقة. ومن الممكن أن يكون لكفاءة استخدام الطاقة واستخدام الطاقة المتجددة تأثير كبير في تقليل الانبعاثات. ومن الممكن أن تعمل سياسات أخرى على الحد من انبعاثات الغازات الدفيئة الأخرى وتعزيز امتصاص ثاني أكسيد الكربون في الغابات والتربة. ما هي مجموعة السياسات التي يمكن أن توفر استجابة كافية، وكيف كان رد فعل دول العالم على هذه القضية حتى الآن؟ وسوف ننتقل الآن إلى هذه القضايا بمزيد من التفصيل.

الشكل 15: سيناريوهات تثبيت الكربون: التخفيضات المطلوبة في الانبعاثات



المصدر: الهيئة الحكومية الدولية المعنية بتغير المناخ، 2014د، ص. 11. ملحوظة: يمثل الخط العلوي سيناريو RCP 4.5 (استقرار معتدل في نطاق 530 - 580 جزء في المليون من تراكم ثاني أكسيد الكربون) ويمثل الخط السفلي سيناريو IPCC RCP 2.6 (استقرار أقوى عند تراكم 430 - 480 جزء في المليون من ثاني أكسيد الكربون).

3. استجابات السياسات لتغير المناخ التكيف والتخفيف

- يمكن تصنيف استجابات السياسات لتغير المناخ على نطاق واسع إلى فئتين: تدابير التكيف للتعامل مع عواقب تغير المناخ والتخفيف من آثارها، أو التدابير الوقائية، التي تهدف إلى خفض حجم أو توقيت تغير المناخ. تشمل التدابير التكيفية ما يلي: • بناء السدود والأسوار البحرية للحماية من ارتفاع منسوب مياه البحار والظواهر الجوية القاسية مثل الفيضانات والأعاصير. • تحويل أنماط الزراعة في الزراعة للتكيف مع الظروف الجوية المتغيرة. • إنشاء المؤسسات القادرة على تعبئة الموارد البشرية والمادية والمالية اللازمة للاستجابة للكوارث المرتبطة بالمناخ. تشمل تدابير التخفيف ما يلي: • الحد من انبعاثات غازات الدفيئة من خلال تلبية الطلب على الطاقة من مصادر ذات انبعاثات غازات دفيئة أقل (على سبيل المثال، التحول من الفحم إلى طاقة الرياح لتوليد الكهرباء). • الحد من انبعاثات الغازات الدفيئة من خلال زيادة كفاءة استخدام الطاقة. تعزيز أحواض الكربون الطبيعية. أحواض الكربون هي المناطق التي يمكن

تخزين الكربون فيها؛ وتشمل المصارف الطبيعية التربة والغابات. ويمكن للتدخل البشري أن يقلل أو يوسع هذه الأحواض من خلال إدارة الغابات والممارسات الزراعية. تقوم الغابات بإعادة تدوير ثاني إلى أكسجين؛ إن الحفاظ على مناطق الغابات والتوسع في إعادة التشجير يمكن (CO2) أكسيد الكربون أن يكون له تأثير كبير على صافي انبعاثات ثاني أكسيد الكربون. تعتبر التربة أيضًا مستودعات ضخمة للكربون، حيث تحتوي التربة على كمية من الكربون أكبر بثلاثة أضعاف من تلك الموجودة في الغلاف الجوي. إن استعادة التربة المتدهورة يمكن أن تلتقط كميات كبيرة من ثاني أكسيد الكربون.

يمكن للتحليل الاقتصادي أن يوفر توجيهات سياسية لأي إجراء وقائي أو تكيفي محدد تقريبًا. ويمكن لتحليل التكلفة والعائد، كما رأينا أعلاه، أن يقدم أساسًا لتقييم ما إذا كان ينبغي تنفيذ السياسة أم لا. ومع ذلك، كما نوقش سابقًا، يختلف الاقتصاديون حول الافتراضات والمنهجيات المناسبة لتحليلات التكلفة والعائد لتغير المناخ. والاستنتاج الأقل إثارة للجدل من النظرية الاقتصادية هو أننا ينبغي لنا أن نطبق تحليل فعالية التكلفة في النظر في السياسات التي يتعين علينا أن نتبناها. يؤدي استخدام تحليل فعالية التكلفة إلى تجنب العديد من التعقيدات المرتبطة بتحليل التكلفة والعائد. في حين يحاول تحليل التكلفة والعائد تقديم أساس لاتخاذ قرار بشأن أهداف السياسة، فإن تحليل فعالية التكلفة يقبل الهدف كما هو محدد من قبل المجتمع ويستخدم التقنيات الاقتصادية لتحديد الطريقة الأكثر كفاءة للوصول إلى هذا الهدف. بشكل عام، يفضل الاقتصاديون عادة الأساليب التي تعمل من خلال آليات السوق لتحقيق أهدافهم. تعتبر الأساليب الموجهة نحو السوق فعالة من حيث التكلفة؛ وبدلاً من محاولة السيطرة على الجهات الفاعلة في السوق بشكل مباشر، فإنها تعمل على تحويل الحوافز بحيث يتمكن الأفراد والشركات من تغيير سلوكهم بحيث يأخذون التكاليف والفوائد الخارجية في الاعتبار. ومن أمثلة أدوات السياسات القائمة على السوق ضرائب التلوث والتصاريح القابلة للتحويل أو التداول. ومن المحتمل أن تكون كلتا هاتين الأداتين مفيدتين لخفض غازات الدفيئة. وتشمل السياسات الاقتصادية الأخرى ذات الصلة تدابير لخلق حوافز لاعتماد مصادر الطاقة المتجددة والتكنولوجيا الموفرة للطاقة. يركز معظم هذا القسم على سياسات التخفيف، ولكن أصبح من الواضح بشكل متزايد أن سياسات التخفيف تحتاج إلى استكمالها بسياسات التكيف. إن تغير المناخ يحدث بالفعل، وحتى إذا تم تنفيذ سياسات تخفيف كبيرة في المستقبل القريب، فإن الانحباس الحراري وارتفاع مستوى سطح البحر سوف يستمران في المستقبل، ولو لقرون من الزمن. تختلف الحاجة الملحة والقدرة على اتخاذ تدابير التكيف في جميع أنحاء العالم. إن فقراء العالم هم الذين يواجهون أكبر الحاجة إلى التكيف، ولكن معظمهم يفتقرون أيضًا إلى الموارد اللازمة. وستكون التأثيرات السلبية [لتغير المناخ] أكثر وضوحا في الدول النامية بسبب ظروفها الجغرافية والمناخية، واعتمادها الكبير على الموارد الطبيعية، وقدرتها المحدودة على التكيف مع المناخ المتغير. وفي هذه البلدان، فإن أفقر الناس، الذين لديهم أقل الموارد وأقل القدرة على التكيف، هم الأكثر عرضة للخطر.

احتياجات التكيف حسب القطاعات الرئيسية، كما هو موضح (IPCC) حددت الهيئة الحكومية الدولية المعنية بتغير المناخ في الجدول 3. وتشمل بعض المجالات الأكثر أهمية للتكيف المياه والزراعة والصحة البشرية. ومن المتوقع أن يؤدي تغير المناخ إلى زيادة هطول الأمطار في بعض المناطق، وخاصة خطوط العرض العليا بما في ذلك ألاسكا وكندا وروسيا، لكنه يقللها في مناطق أخرى، بما في ذلك أمريكا الوسطى وشمال أفريقيا وجنوب أوروبا. ومن الممكن أن يؤدي انخفاض جريان المياه نتيجة ذوبان الثلوج والأنهار الجليدية إلى تهديد إمدادات المياه لأكثر من مليار شخص في مناطق مثل الهند وأجزاء من أمريكا الجنوبية. وقد يتطلب توفير مياه الشرب الآمنة في هذه المناطق بناء سدود جديدة لتخزين المياه، وزيادة كفاءة استخدام المياه، وغيرها من استراتيجيات التكيف. إن تغير أنماط هطول الأمطار ودرجات الحرارة له ،آثار كبيرة على الزراعة. ومع الاحترار المعتدل، من المتوقع أن تزيد غلات المحاصيل في بعض المناطق الأكثر برودة بما في ذلك أجزاء من أمريكا الشمالية، ولكن من المتوقع أن تكون التأثيرات على الزراعة سلبية بشكل عام، وتتزايد هذه التأثيرات مع ارتفاع درجات الحرارة. وفي الولايات المتحدة، أدى تغير المناخ إلى إطالة وتفاقم فترات الجفاف في الولايات الغربية، وخاصة كاليفورنيا، الأمر الذي أجبر المزارعين نتيجة لذلك على التكيف مع محاصيل أقل استهلاكا للمياه، والاستعاضة عن بساتين البرتقال وأشجار الأفوكادو بأشجار أخرى. المحاصيل مثل الرمان أو فاكهة التنين الشبيهة بالصبار. ومن المتوقع أن تكون التأثيرات الزراعية أشد حدة في أفريقيا وآسيا. من الضروري إجراء المزيد من الأبحاث لتطوير المحاصيل التي يمكن أن تنمو في ظل الظروف الجوية الأكثر جفافًا المتوقعة. وقد يلزم التخلي عن الزراعة في بعض المناطق وتوسيع نطاقها في مناطق أخرى. إن تأثيرات تغير المناخ على صحة الإنسان تحدث بالفعل. وتشير ،تقديرات منظمة الصحة العالمية إلى أن أكثر من 140 ألف شخص يموتون سنويا بالفعل كنتيجة مباشرة لتغير المناخ وخاصة في أفريقيا وجنوب شرق آسيا. وتشير تقديراته أيضا إلى أنه بعد عام 2030، سيؤدي تغير المناخ إلى 250 ألف حالة وفاة إضافية سنويا، بسبب سوء التغذية، والملاريا، والإسهال، والإجهاد الحراري. وتشير تقديرات منظمة الصحة .العالمية إلى أن تكاليف الأضرار المباشرة التي تلحق بالصحة تبلغ 2 إلى 4 مليار دولار أمريكي سنويا بحلول عام 2030 وتشمل توصيات منظمة الصحة العالمية في مجال السياسات تعزيز أنظمة الصحة العامة، مع زيادة التعليم، ومراقبة .الأمراض، والتطعيم، والتأهب

الجدول 3. احتياجات التكيف مع تغير المناخ، حسب القطاع

قطاع	استراتيجيات التكيف
ماء	التوسع في تخزين المياه وتحلية المياه تحسين إدارة مستجمعات المياه والخزانات. زيادة استخدام المياه وكفاءة الري وإعادة استخدام المياه إدارة الفيضانات في المناطق الحضرية والريفية
زراعة	ضبط مواعيد الزراعة ومواقع المحاصيل تطوير أصناف المحاصيل المتكيفة مع الجفاف وارتفاع درجات الحرارة تحسين إدارة الأراضي للتعامل مع الفيضانات/الجفاف تعزيز المعارف والممارسات الأصلية/التقليدية
بنية تحتية	نقل المجتمعات الضعيفة بناء وتعزيز الأسوار البحرية والحواجز الأخرى إنشاء واستعادة الأراضي الرطبة للسيطرة على الفيضانات تعزيز الكثبان الرملية

بشر صحة	الخطط الصحية للحرارة الشديدة زيادة أنظمة التتبع والإنذار المبكر للأمراض المرتبطة بالحرارة معالجة التهديدات التي تواجه إمدادات مياه الشرب الآمنة توسيع نطاق خدمات الصحة العامة الأساسية
ينقل	نقل أو تكييف البنية التحتية للنقل معايير تصميم جديدة للتعامل مع تغير المناخ
طاقة	تعزيز البنية التحتية للتوزيع معالجة الطلب المتزايد على التبريد زيادة الكفاءة وزيادة استخدام مصادر الطاقة المتجددة
النظم البيئية	تقليل ضغوط النظام البيئي الأخرى وضغوط الاستخدام البشري تحسين الفهم العلمي وتعزيز الرصد الحد من إزالة الغابات، وزيادة إعادة التشجير زيادة حماية أشجار المانجروف والشعاب المرجانية والأعشاب البحرية

.المصدر: الهيئة الحكومية الدولية المعنية بتغير المناخ، 2007؛ الهيئة الحكومية الدولية المعنية بتغير المناخ، 2014ج

توجد تقديرات مختلفة لتكلفة تدابير التكيف المناسبة. تشير تقديرات برنامج الأمم المتحدة للبيئة إلى أن تكاليف التكيف في الدول النامية قد ترتفع إلى ما يتراوح بين 140 مليار دولار إلى 300 مليار دولار سنوياً بحلول عام 2030، وما بين 280 مليار دولار إلى 500 مليار دولار سنوياً بحلول عام 2050. وتتجاوز هذه المبالغ بشكل كبير مبلغ 100 مليار دولار سنوياً. التي تعهدت بها الدول المتقدمة في اتفاق باريس لعام 2015. ويحذر برنامج الأمم المتحدة للبيئة من أنه ستكون هناك فجوة مالية كبيرة، "من المرجح أن تنمو بشكل كبير خلال العقود المقبلة، ما لم يتم إحراز تقدم كبير لتأمين تمويل جديد وإضافي ومبتكر للتكيف". إن تكاليف التكيف أعلى بالفعل بمقدار مرتين إلى ثلاث مرات من .التمويل العام الدولي الحالي المخصص للتكيف

التخفيف من آثار تغير المناخ: خيارات السياسة الاقتصادية

إن إطلاق غازات الدفيئة في الغلاف الجوي هو مثال واضح على العوامل الخارجية السلبية التي تفرض تكاليف كبيرة على نطاق عالمي. وبلغة النظرية الاقتصادية فإن السوق الحالية للوقود الكربوني مثل الفحم والنفط والغاز الطبيعي لا تأخذ في الاعتبار سوى التكاليف والفوائد الخاصة، الأمر الذي يؤدي إلى توازن السوق الذي لا يتوافق مع المستوى الاجتماعي الأمثل. ومن منظور اجتماعي، فإن سعر السوق للوقود الأحفوري منخفض للغاية والكمية المستهلكة .مرتفعة للغاية

ضرائب الكربون

العلاج الاقتصادي القياسي لاستيعاب التكاليف الخارجية هو فرض ضريبة على كل وحدة من الملوث. وفي هذه الحالة فإن المطلوب هو فرض ضريبة على الكربون، يتم فرضها على الوقود الأحفوري القائم على الكربون بما يتناسب مع كمية الكربون المرتبطة بإنتاجه واستخدامه. ومثل هذه الضريبة من شأنها أن ترفع أسعار مصادر الطاقة المعتمدة على الكربون، وبالتالي تعطي المستهلكين حوافز للحفاظ على الطاقة بشكل عام (وهو ما من شأنه أن يقلل من العبء الضريبي عليهم)، فضلا عن تحويل طلبهم إلى مصادر بديلة للطاقة تنتج انبعاثات كربونية أقل (وتكون أقل انبعاثات كربونية). وبالتالي تخضع للضريبة بمعدلات أقل). ومن الناحية الاقتصادية فإن مستوى هذه الضريبة لابد أن يستند إلى التكلفة الاجتماعية للكربون ـ وهو تقدير للأثر المالي الذي قد يخلفه الانبعاثات الكربونية على المجتمع. وتقدر وكالة حماية البيئة الأميركية التكلفة الاجتماعية للكربون، استناداً إلى افتراضات مختلفة، بما يتراوح بين 11 دولاراً و212 دولاراً، مع نطاق متوسط يبلغ نحو 50 دولاراً. وكما ذكرنا سابقًا، فإن السبب الرئيسي لاختلاف التقديرات هو الافتراضات المتعلقة بمعدلات الخصم والمخاطر/عدم اليقين. ويبين الجدول 4 تأثير المستويات المختلفة لضريبة الكربون على أسعار الفحم والنفط والغاز الطبيعي. يتم تقديم الضريبة هنا بالدولار لكل طن من ثاني أكسيد الكربون. إحدى نقاط الارتباك الشائعة هي أنه يمكن التعبير عن ضريبة الكربون إما كضريبة لكل وحدة من الكربون أو ضريبة لكل وحدة من ثاني أكسيد الكربون. لمقارنة الاثنين، يحتاج المرء إلى أن يأخذ في الاعتبار النسبة بين الوزن الجزيئي لثاني أكسيد الكربون (44)، والوزن الجزيئي للكربون (12) - طن واحد من الكربون يعادل 44/12 طن من ثاني أكسيد الكربون. إذا أردنا تحويل ضريبة قدرها 100 دولار لكل طن من الكربون إلى ضريبة لكل طن من ثاني أكسيد الكربون، فسنحتاج إلى مضاعفة ضريبة 100 دولار في 12/44 = 0.2727: وهذا يعني أن ضريبة قدرها 100 دولار لكل طن من الكربون تعادل ضريبة قدرها 27.27 دولارًا لكل طن من ثاني أكسيد الكربون.

الجدول 4. ضرائب الكربون البديلة على الوقود الأحفوري

تأثير سعر الكربون على سعر التجزئة للبنزين					
kg	CO_2	per	gallon		8.89
tonnes	CO_2	per	gallon		0.00889
$/gal.,	$50/tonne	tax			$0.44
$/gal.,	$100/tonne	tax			$0.88
Retail	price	(2016)	per	gallon	$2.20
%	increase,	$50/tonne	tax		20.2%
%	increase,	$100/tonne	tax		40.4%
تأثير سعر الكربون على سعر التجزئة للفحم					
kg	CO_2	per	short	ton	2100

tonnes	CO_2	per	short	ton		2.1
$/short	ton,	$50/tonne		tax		$105
$/short	ton,	$100/tonne		tax		$210
Retail	price	(2016)	per	short	ton	$40
%	increase,	$50/tonne		tax		262.5%
%	increase,	$100/tonne		tax		525.0%

تأثير سعر الكربون على سعر التجزئة للغاز الطبيعي

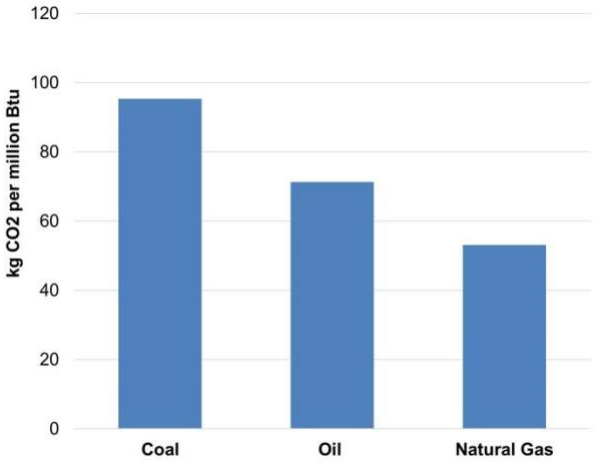
kg	CO_2	per	1000	cu.	ft.	53.12
tonnes	CO_2	per	1000	cu.	ft.	0.05312
$/1000	cu.	ft.,	$50/tonne		tax	$2.66
$/1000	cu.	ft.,	$100/tonne		tax	$5.31
Retail	price	(2016)	per	1000	cu. ft.	$12
%	increase,	$50/tonne		tax		22.1%
%	increase,	$100/tonne		tax		44.2%

المصدر: حساب انبعاثات الكربون من معاملات الكربون وعوامل التحويل الحراري المتاحة من وزارة الطاقة الأمريكية. جميع بيانات الأسعار من إدارة معلومات الطاقة الأمريكية.

يعد الفحم هو الوقود ،(Btus) واستنادًا إلى محتوى الطاقة، الذي يتم قياسه بالوحدات الحرارية البريطانية الأحفوري الأكثر كثافة للكربون، بينما ينتج الغاز الطبيعي أقل انبعاثات كربون لكل وحدة حرارية بريطانية (الشكل وبحساب تأثير ضريبة الكربون مقارنة بالوحدات التجارية القياسية لكل مصدر للوقود، نرى أن ضريبة .(16 الكربون البالغة 50 دولارًا/طن ثاني أكسيد الكربون، على سبيل المثال، ترفع سعر جالون البنزين بحوالي 44 سنتًا، أو 20%. ، بناءً على أسعار عام 2016 (الشكل 17). وتعادل ضريبة قدرها 100 دولار/طن من ثاني أكسيد الكربون زيادة في أسعار البنزين بنحو 88 سنتا للجالون الواحد. وسيكون تأثير ضريبة الكربون أكبر على أسعار الفحم - حيث أن ضريبة قدرها 50 دولارًا/طن من ثاني أكسيد الكربون ستؤدي إلى زيادة أسعار الفحم بنسبة ومن شأن ضريبة بقيمة 100 دولار للطن أن ترفع أسعار الفحم بمقدار خمسة أضعاف. بالنسبة للغاز .262% الطبيعي، فإن نسبة التأثير هي نفسها تقريبًا بالنسبة للبنزين. بالنسبة للغاز الطبيعي، على الرغم من أن محتواه من

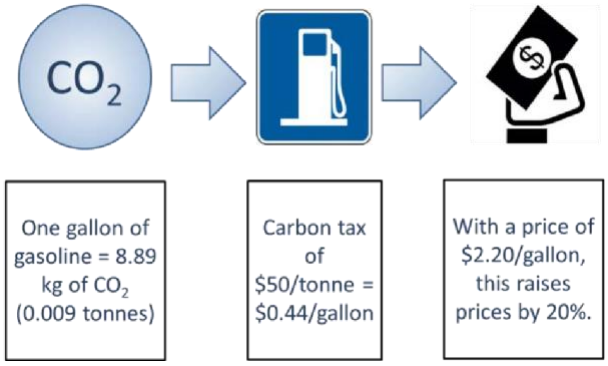
الكربون أقل من محتوى البنزين، فإن سعره المنخفض (اعتبارًا من عام 2016) يعني أن نسبة التأثير على السعر هي نفسها تقريبًا بالنسبة للبنزين.

الشكل 16. محتوى الكربون في الوقود



المصدر: تم حسابه من بيانات وزارة الطاقة الأمريكية.

الشكل 17. تأثير ضريبة الكربون على سعر البنزين

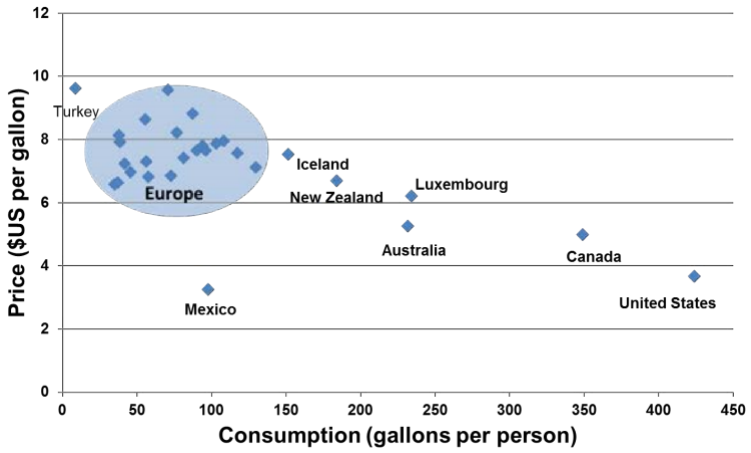


هل ستؤثر هذه المبالغ الضريبية على عادات قيادة الأشخاص أو تدفئة منازلهم بشكل كبير، أو ستؤثر على استخدام الصناعة للوقود؟ ويعتمد ذلك على مرونة الطلب على هذه الأنواع من الوقود. يتم تعريف مرونة الطلب على النحو التالي: مرونة الطلب = نسبة التغير في الكمية المطلوبة نسبة التغير في السعر قام الاقتصاديون بقياس مرونة الطلب على أنواع الوقود الأحفوري المختلفة، وخاصة البنزين. (مرونة الطلب سلبية عمومًا، نظرًا لأن التغير الإيجابي في النسبة المئوية في السعر يؤدي إلى تغير سلبي في الكمية المطلوبة.) تشير الدراسات إلى أن تقديرات المرونة على المدى القصير (حوالي سنة واحدة أو أقل) تراوحت من -0.03 إلى -0.25. وهذا يعني أنه من المتوقع أن تؤدي زيادة سعر البنزين بنسبة 10 في المائة إلى انخفاض الطلب على البنزين على المدى القصير بحوالي -0.3 إلى -2.5 في المائة. وعلى المدى الطويل (حوالي خمس سنوات أو نحو ذلك) يصبح الناس أكثر استجابة لزيادات أسعار البنزين، حيث يكون لديهم الوقت لشراء مركبات مختلفة وتعديل عادات القيادة الخاصة بهم. ويبلغ متوسط مرونة الطلب على المدى الطويل على وقود السيارات، بناءً على تقديرات واحد وخمسين، –0.64. ووفقاً للجدول 4، فإن فرض ضريبة قدرها 50 دولاراً لكل طن من ثاني أكسيد الكربون من شأنه أن يزيد سعر البنزين بنحو 20 في المائة، مما يضيف 44 سنتاً للغالون الواحد إلى سعر البنزين على أساس أسعار عام 2016. تشير المرونة طويلة المدى البالغة -0.64 إلى أنه بعد أن يتوفر للناس الوقت للتكيف بشكل كامل مع هذا التغير في الأسعار، يجب أن ينخفض الطلب على البنزين بنحو 13 بالمائة. ويبين الشكل 18 العلاقة بين أسعار البنزين ونصيب الفرد من

الاستهلاك. (بما أن تكلفة إنتاج جالون من البنزين تختلف قليلاً بين البلدان، فإن الاختلافات في سعر الجالون في بلدان مختلفة تكاد تكون مجرد دالة على الاختلافات في الضرائب). لاحظ أن هذه العلاقة تشبه علاقة منحنى الطلب: أعلى وترتبط الأسعار بانخفاض الاستهلاك، وانخفاض الأسعار بزيادة الاستهلاك. ومع ذلك، فإن العلاقة الموضحة هنا ليست بالضبط نفس منحنى الطلب؛ وبما أننا ننظر إلى بيانات من بلدان مختلفة، فإن افتراض "تساوي الأشياء الأخرى"، وهو الافتراض اللازم لبناء منحنى الطلب، لا يصمد.

على سبيل المثال، قد تكون الاختلافات في الطلب، جزئيًا، نتيجة للاختلافات في مستويات الدخل وليس الأسعار. كما أن الأشخاص في الولايات المتحدة قد يقودون سياراتهم بشكل جزئي لأن مسافات السفر (خاصة في غرب الولايات المتحدة) أكبر مما هي عليه في العديد من الدول الأوروبية، وخيارات النقل العام أقل. ولكن يبدو أن هناك علاقة واضحة بين السعر - والاستهلاك. تشير البيانات الموضحة هنا إلى أن الأمر سيتطلب ارتفاعًا كبيرًا في الأسعار - في حدود 0.50 دولارًا دولارًا للغالون أو أكثر - للتأثير على استخدام الوقود بشكل كبير 1.00.

الشكل 18. سعر البنزين مقابل الاستهلاك في الدول الصناعية، 2012



المصادر: قاعدة بيانات إدارة معلومات الطاقة الأمريكية، إحصاءات الطاقة الدولية؛ GIZ، أسعار الوقود العالمية؛ البنك الدولي، مؤشرات التنمية العالمية (السكان). ملاحظة: تمثل المنطقة المظللة نطاق السعر/الاستهلاك2012/2013 النموذجي لدول أوروبا الغربية.

فهل تصبح زيادة الضرائب على البنزين بشكل كبير، أو فرض ضريبة واسعة النطاق على الكربون، أمرا ممكنا من الناحية السياسية؟ وفي الولايات المتحدة بشكل خاص، فإن الضرائب المرتفعة على البنزين وأنواع الوقود الأخرى سوف تواجه قدراً كبيراً من المعارضة. وكما يبين الشكل 18، فإن الولايات المتحدة لديها أعلى معدل استهلاك للبنزين للفرد وأدنى الأسعار خارج منطقة الشرق الأوسط. ولكن دعونا نلاحظ أمرين بشأن اقتراح فرض ضرائب كبيرة على الكربون: أولاً، قد تؤدي إعادة تدوير الإيرادات إلى إعادة توجيه الإيرادات المتأتية من ضرائب الكربون وغيرها من الضرائب البيئية لخفض الضرائب الأخرى. وينبع قدر كبير من المعارضة السياسية لضرائب الطاقة المرتفعة من تصور مفاده أنها ستكون بمثابة ضريبة إضافية - علاوة على ضرائب الدخل والممتلكات والضمان الاجتماعي التي يدفعها الناس بالفعل. فإذا تمت مطابقة ضريبة الكربون، على سبيل المثال، مع خفض كبير في ضرائب الدخل أو الضمان الاجتماعي، فقد تكون أكثر قبولا من الناحية السياسية. • إن فكرة زيادة الضرائب على السيئات" الاقتصادية، مثل التلوث، مع خفض الضرائب على الأشياء التي نريد تشجيعها، مثل العمالة واستثمار رأس" المال، تتفق تماماً مع مبادئ الكفاءة الاقتصادية. وبدلا من زيادة صافية في الضرائب، سيكون هذا تحولا ضريبيا محايدا للإيرادات - حيث أن المبلغ الإجمالي الذي يدفعه المواطنون للحكومة كضرائب لم يتغير بشكل أساسي. ومن الممكن أيضًا استخدام بعض عائدات الضرائب لتوفير الإغاثة لذوي الدخل المنخفض للتعويض عن عبء ارتفاع تكاليف الطاقة. ثانياً، إذا حدث مثل هذا التحول الضريبي المحايد للإيرادات، فإن الأفراد أو الشركات التي كانت عملياتها أكثر كفاءة في استخدام الطاقة من شأنها أن توفر المال بشكل عام. كما أن ارتفاع تكاليف الطاقة من شأنه أن يخلق حافزاً قوياً للإبداعات التكنولوجية الموفرة للطاقة وأن يحفز أسواقاً جديدة. وسوف يكون التكيف الاقتصادي .أسهل إذا تم تطبيق ضرائب الكربون الأعلى (وضرائب الدخل ورأس المال المنخفضة) تدريجياً بمرور الوقت

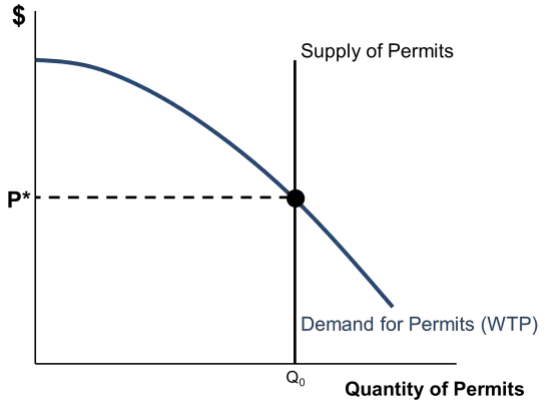
تصاريح قابلة للتداول

البديل لضريبة الكربون هو نظام تصاريح الكربون القابلة للتداول، والتي تسمى أيضا الحد الأقصى والتجارة. يمكن تنفيذ خطة تجارة الكربون على مستوى الولاية أو المستوى الوطني، أو يمكن أن تشمل بلدان متعددة. يمكن أن يعمل نظام التصاريح الوطني على النحو التالي: • سيتم تخصيص مستوى محدد مسموح به من انبعاثات الكربون لكل شركة تصدر انبعاثات. العدد الإجمالي لتصاريح الكربون الصادرة سيكون مساوياً للهدف الوطني المنشود. على سبيل المثال، إذا كانت انبعاثات الكربون لدولة معينة تبلغ حاليًا 40 مليون طن وكان هدف السياسة هو تقليل ذلك بنسبة 10 بالمائة (4 ملايين طن)، فسيتم إصدار تصاريح لانبعاث 36 مليون طن فقط. وبمرور الوقت، يمكن زيادة الهدف، مما يؤدي إلى إصدار عدد أقل من التصاريح في الفترات المقبلة. • يتم تخصيص التصاريح لمصادر انبعاث الكربون الفردية. إن إدراج جميع مصادر الكربون (على سبيل المثال، جميع السيارات) في مخطط التداول ليس عمليا بشكل عام. من الأكثر فاعلية تنفيذ التصاريح في مرحلة ما قبل عملية الإنتاج قدر الإمكان لتبسيط إدارة البرنامج وتغطية معظم الانبعاثات. (يشير مصطلح "المنبع" هنا إلى مرحلة مبكرة في عملية الإنتاج). ويمكن تخصيص التصاريح لأكبر الجهات المسببة لانبعاثات الكربون، مثل شركات الطاقة ومصانع التصنيع، أو حتى ،للموردين الذين يدخل الوقود الكربوني من خلالهم إلى عملية الإنتاج - منتجي ومستوردي النفط، ومناجم الفحم وحفارات الغاز الطبيعي. • يمكن في البداية تخصيص هذه التصاريح مجاناً على أساس الانبعاثات السابقة أو بيعها بالمزاد لمن يدفع أعلى سعر. يجب أن تكون فعالية نظام التداول هي نفسها بغض النظر عن كيفية تخصيص التصاريح. ومع ذلك، هناك فارق كبير في توزيع التكاليف والفوائد: فمنح التصاريح مجانا يمثل في الأساس مكاسب .غير متوقعة للملوثين، في حين أن بيع التصاريح بالمزاد يفرض تكاليف حقيقية على الشركات ويولد إيرادات عامة الشركات قادرة على تداول التصاريح بحرية فيما بينها. يجب على الشركات التي تتجاوز انبعاثاتها عدد التصاريح • التي تمتلكها أن تشتري تصاريح إضافية وإلا ستواجه عقوبات. وفي الوقت نفسه، فإن الشركات القادرة على خفض انبعاثاتها إلى ما دون الحد المسموح به بتكلفة منخفضة ستسعى إلى بيع تصاريحها لتحقيق الربح. سيتم تحديد سعر التصريح من خلال العرض والطلب في السوق. وقد يكون من الممكن أيضًا للمجموعات البيئية أو المنظمات الأخرى شراء التصاريح وسحبها من الخدمة، وبالتالي تقليل الانبعاثات الإجمالية. · في النظام الدولي، تستطيع ،البلدان والشركات أيضاً الحصول على الائتمان لتمويل جهود الحد من الكربون في بلدان أخرى. على سبيل المثال

،من الممكن أن تحصل شركة ألمانية على الائتمان لتركيب معدات توليد كهرباء متجددة تتسم بالكفاءة في الصين
.لتحل محل محطات الفحم شديدة التلوث

ويعمل نظام التصاريح القابلة للتداول على تشجيع تنفيذ خيارات خفض الكربون الأقل تكلفة، حيث تتولى الشركات العقلانية تنفيذ إجراءات خفض الانبعاثات التي تكون أرخص من سعر تصريح السوق. وقد نجحت أنظمة التصاريح القابلة للتداول في الحد من انبعاثات الكبريت وأكسيد النيتروجين بتكلفة منخفضة. واعتماداً على تخصيص التصاريح في مخطط دولي، قد يعني ذلك أيضاً أن البلدان النامية قادرة على تحويل التصاريح إلى سلعة تصدير جديدة عن طريق اختيار مسار غير كربوني لتنمية الطاقة لديها. وسيكون بمقدورهم بعد ذلك بيع التصاريح إلى البلدان الصناعية التي كانت تواجه صعوبة في تلبية متطلبات التخفيض. ويمكن للمزارعين وعمال الغابات .أيضًا الحصول على أرصدة الكربون لاستخدام الأساليب التي تخزن الكربون في التربة أو تحافظ على الغابات وبينما تحدد الحكومة عدد التصاريح المتاحة، يتم تحديد سعر التصريح حسب قوى السوق. وفي هذه الحالة، يكون منحنى العرض ثابتًا، أو رأسيًا، عند عدد التصاريح المخصصة، كما هو موضح في الشكل 19. ويتم تحديد عرض ويمثل منحنى الطلب على التصاريح مدى استعداد الشركات لدفع ثمنها. إن الحد الأقصى .Q0 التصاريح عند .لاستعدادهم لدفع ثمن التصاريح يساوي الأرباح المحتملة التي يمكنهم كسبها من خلال انبعاث الكربون

الشكل 19. تحديد سعر تصريح الكربون



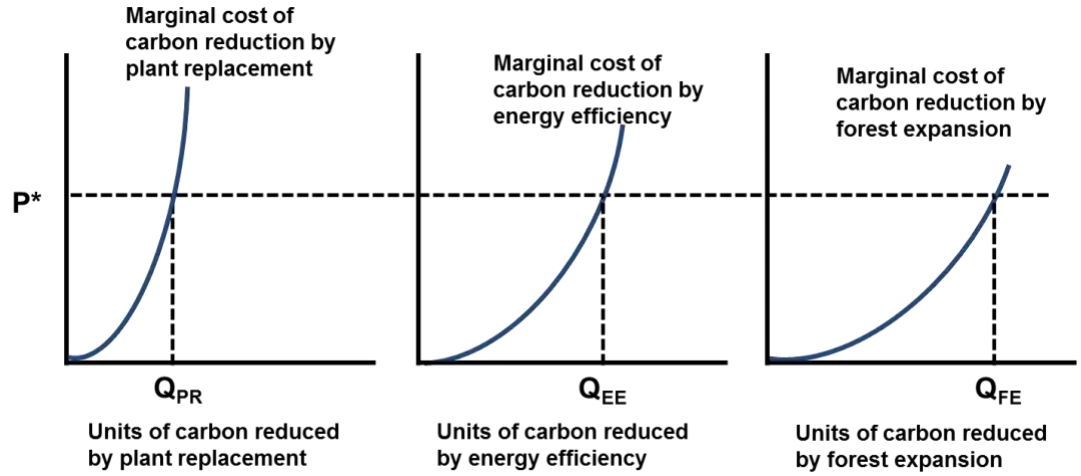
.الاستعداد للدفع = WTP :ملاحظة

لنفترض أنه سيتم بيع التصاريح بالمزاد العلني واحدًا تلو الآخر لأعلى مقدمي العطاءات (عملية تُعرف باسم المزاد المتسلسل). ويبين الشكل 19 أن الاستعداد لدفع ثمن التصريح الأول سيكون مرتفعاً للغاية، حيث ستحقق شركة معينة ربحاً كبيراً نسبياً من خلال السماح لها بانبعاث وحدة واحدة من الكربون. بالنسبة للتصريح الثاني، من المتوقع من الشركات التي فشلت في الحصول على التصريح الأول أن تكرر عطاءاتها ببساطة. ويمكن للشركة التي نجحت في تقديم عطاءاتها للحصول على التصريح الأول أن تقدم أيضًا عطاءات للحصول على التصريح الثاني، ولكن من المتوقع أن تقدم عرضًا بمبلغ أقل على افتراض أن أرباحها الهامشية آخذة في الانخفاض (أي أن منحنى العرض الخاص بها ينحدر إلى الأعلى، كما هو معتاد). وبغض النظر عما إذا كانت نفس الشركة هي التي فازت بالمناقصة ،للحصول على التصريح الثاني، أو شركة جديدة، فإن سعر البيع للتصريح الثاني سيكون أقل. ستستمر هذه العملية ،مع بيع جميع التصاريح المتتالية بأسعار أقل، حتى يتم بيع التصريح الأخير بالمزاد العلني. سعر بيع هذا التصريح على أنها المنفعة أو P* في الرسم البياني، هو سعر تصريح مقاصة السوق. يمكننا أيضًا تفسير P* الذي يمثله من الكربون. في حين يمكن بيع التصاريح نظريًا بأسعار Q0 الربح الحدي المرتبط بالحق في انبعاث الوحدة مختلفة في مزاد تسلسلي، يتم عادةً إنشاء أسواق التصاريح القابلة للتداول بحيث يتم بيع جميع التصاريح بسعر مقاصة السوق. تقوم جميع الأطراف المهتمة بشراء التصاريح بتقديم عطاءاتها، مع الإشارة إلى عدد التصاريح التي يرغبون في شرائها وبأي سعر. من يقدم أعلى سعر يحصل على عدد التصاريح المطلوبة. ثم يحصل مقدمو ثاني أعلى عطاء على عدد التصاريح التي تقدموا بها، وهكذا حتى يتم تخصيص جميع التصاريح. سعر بيع جميع

في الشكل 19. جميع مقدمي العروض الذين P* التصاريح هو العرض الفائز لآخر تصريح متاح. سيكون هذا يقدمون عروضًا بسعر أقل من هذا السعر لا يحصلون على أي تصاريح.

وهناك نقطة أخرى مهمة وهي أن كل شركة يمكنها أن تختار خفض انبعاثاتها الكربونية بطريقة فعالة من حيث التكلفة. لدى الشركات خيارات مختلفة لتقليل انبعاثاتها الكربونية. ويبين الشكل 20 مثالاً لشركة ما لديها ثلاث استراتيجيات للحد من الكربون: استبدال مصانع التصنيع القديمة، والاستثمار في كفاءة استخدام الطاقة، وتمويل التوسع في الغابات لزيادة تخزين الكربون في الكتلة الحيوية. وفي كل حالة، يوضح الرسم البياني التكاليف الهامشية لتقليل انبعاثات الكربون من خلال تلك الإستراتيجية. وترتفع هذه التكاليف الحدية عمومًا مع انخفاض عدد وحدات الكربون، ولكنها قد تكون أعلى وتزداد بسرعة أكبر بالنسبة لبعض الخيارات مقارنة بخيارات أخرى. في هذا المثال، من الممكن استبدال مصانع التصنيع التي تستخدم تقنيات انبعاث الكربون الحالية ولكنها تميل إلى أن تكون لها تكاليف هامشية عالية - كما هو موضح في الرسم البياني الأول في الشكل 20. إن تقليل الانبعاثات من خلال زيادة كفاءة استخدام الطاقة يؤدي إلى تكاليف هامشية أقل، كما هو موضح في الرسم البياني الأوسط . وأخيرا، فإن تخزين الكربون من خلال توسيع مساحة الغابات له أقل التكاليف (كما هو محدد في الشكل 19) المستويات النسبية لتنفيذ كل من هذه الاستراتيجيات P* الحدية. سيحكم سعر التصريح. وستجد الشركات أنه من المربح خفض الانبعاثات باستخدام استراتيجية معينة ما دامت تكاليف هذا الخيار أقل من تكلفة شراء التصريح.

الشكل 20. خيارات خفض الكربون مع نظام التصاريح



ولكن، (QFE) ويشير التحليل إلى أن التوسع في الغابات سيتم استخدامه للحصول على أكبر حصة من التخفيض في توازن السوق. ومن ثم (QEEو QPR) استبدال النباتات وكفاءة استخدام الطاقة سيساهمان أيضًا في حصص فإن الشركات (والبلدان إذا كان البرنامج دولياً) التي تشارك في مثل هذا المخطط التجاري يمكنها أن تقرر بنفسها حجم كل استراتيجية رقابة يتعين تنفيذها، ومن الطبيعي أن تفضل الأساليب الأقل تكلفة. من المحتمل أن يتضمن هذا مجموعة من الأساليب المختلفة. في برنامج دولي، لنفترض أن دولة واحدة تقوم بإعادة التشجير على نطاق واسع. ومن المرجح بعد ذلك أن يكون لديها تصاريح زائدة، والتي يمكنها بيعها إلى بلد لا يتوفر لديه سوى عدد قليل من خيارات التخفيض منخفضة التكلفة. وسيكون التأثير الصافي هو التنفيذ العالمي لتقنيات خفض التكلفة الأقل. ويجمع هذا النظام بين مزايا الكفاءة الاقتصادية والنتيجة المضمونة: خفض إجمالي الانبعاثات إلى المستوى المطلوب. المشكلة الكبرى، بطبيعة الحال، هي التوصل إلى اتفاق بشأن العدد الأولي من التصاريح، وتحديد ما إذا كان سيتم تخصيص التصاريح بحرية أو بيعها بالمزاد العلني. قد تكون هناك أيضًا مشكلات وقضايا تتعلق بالقياس، مثل ما إذا كان يجب حساب انبعاثات الكربون التجارية فقط أو تضمين تغيرات الانبعاثات الناتجة عن تغيرات استخدام الأراضي مثل تلك المرتبطة بالزراعة والغابات. إن تضمين الزراعة والغابات له ميزة توسيع المخطط

ليشمل المزيد من استراتيجيات التخفيض، ربما بتكلفة أقل بكثير، ولكن قد يكون من الصعب الحصول على قياس دقيق لتخزين الكربون وإطلاقه من تغير استخدام الأراضي.

الضرائب على الكربون أم تحديد سقف للانبعاثات والاتجار بها؟

هناك نقاش حيوي حول النهج الاقتصادي الذي ينبغي استخدامه للحد من انبعاثات الكربون. وهناك أوجه تشابه مهمة بين ضرائب الكربون ونهج مقايضة الكربون، ولكن هناك أيضاً اختلافات مهمة. ومن الناحية النظرية، تستطيع كل من ضرائب التلوث ومقايضة الحد الأقصى تحقيق مستوى معين من الحد من التلوث بأقل تكلفة إجمالية. وكلا النهجين سوف يؤدي أيضاً إلى نفس المستوى من الزيادات في الأسعار للمستهلكين النهائيين، وكل منهما يخلق حافزاً قوياً للإبداع التكنولوجي. ومن الممكن أن يجمع كلا النهجين نفس القدر من الإيرادات الحكومية، على افتراض بيع جميع التصاريح بالمزاد العلني، ومن الممكن تنفيذهما في مراحل الإنتاج الأولية لتغطية نفس النسبة من إجمالي الانبعاثات. ومع ذلك، هناك العديد من الاختلافات المهمة بين السياستين. تشمل بعض مزايا ضريبة الكربون ما يلي: في عموم الأمر، تعتبر ضريبة الكربون أسهل في الفهم وأكثر شفافية من نهج مقايضة الانبعاثات. وقد تكون أنظمة مقايضة الانبعاثات معقدة وتتطلب مؤسسات بيروقراطية جديدة لكي تعمل. • مع التغير التكنولوجي الذي يعمل على خفض تكاليف خفض الكربون، فإن ضريبة الكربون سوف تؤدي تلقائياً إلى المزيد من خفض انبعاثات الكربون. وفي برنامج مقايضة الانبعاثات، فإن التغير التكنولوجي سوف يؤدي بدلاً من ذلك إلى خفض أسعار التصاريح، وربما يؤدي هذا إلى دفع بعض الشركات إلى إطلاق المزيد من الكربون فعلياً. • ربما يكون من الممكن تنفيذ ضريبة الكربون بسرعة أكبر. ونظراً للحاجة إلى معالجة تغير المناخ في أقرب وقت ممكن، فقد يكون من غير المستحسن أن ننفق سنوات في العمل على التفاصيل وتنفيذ برنامج مقايضة الانبعاثات. ولعل الميزة الأكثر أهمية لضريبة الكربون هي أنها توفر قدراً أكبر من القدرة على التنبؤ بالأسعار. وإذا عرفت الشركات والأسر ما هي الضرائب المستقبلية التي ستفرض على الوقود الأحفوري وغيره من المنتجات المسببة للانحباس الحراري العالمي، فسوف يكون بوسعها الاستثمار وفقا لذلك. على سبيل المثال، يعتمد ما إذا كانت الشركة تستثمر في نظام التدفئة والتبريد الموفر للطاقة على توقعاتها لأسعار الوقود المستقبلية. وفي نظام الحد الأقصى والمتاجرة، يمكن أن تختلف أسعار التصاريح بشكل كبير، مما يؤدي إلى تقلب الأسعار الذي يجعل التخطيط صعبا. وعلى النقيض من ذلك، توفر ضريبة الكربون درجة من استقرار الأسعار، خاصة إذا تم نشر مستويات ضريبة الكربون بعد سنوات من المستقبل.

تشمل مزايا نظام الحد الأقصى والتجارة ما يلي: ورغم أن نظام مقايضة الانبعاثات يؤدي في نهاية المطاف إلى نفس المستوى من الزيادات في الأسعار بالنسبة للمستهلكين والشركات، فإنه يتجنب الدلالات السلبية التي قد تحملها "الضريبة". لذا فإن نظام مقايضة الانبعاثات عادة ما يولد معارضة سياسية أقل من المعارضة التي تفرضها ضريبة الكربون. • تفضل بعض الشركات سياسة تحديد الانبعاثات ومقايضتها لأنها تعتقد أنها قادرة على الضغط على الحكومات بنجاح للحصول على تصاريح مجانية، بدلاً من الاضطرار إلى شرائها في مزاد علني. إن توزيع التصاريح مجانًا في المراحل الأولى من برنامج مقايضة الانبعاثات يمكن أن يجعله أكثر قبولًا من الناحية السياسية للشركات. • إن الميزة الأعظم التي يتمتع بها نهج مقايضة الانبعاثات هو أن الانبعاثات معروفة على وجه اليقين لأن الحكومة هي التي تحدد عدد التصاريح المتاحة. وبما أن هدف السياسة في نهاية المطاف هو الحد من انبعاثات الكربون، فإن نهج مقايضة الكربون يفعل ذلك بشكل مباشر في حين أن ضريبة الكربون تفعل ذلك بشكل غير مباشر من خلال زيادات الأسعار. وباستخدام نهج مقايضة الانبعاثات، نستطيع أن نحقق مساراً محدداً للانبعاثات ببساطة عن طريق تحديد عدد التصاريح. وفي نظام ضريبة الكربون، قد يتطلب تحقيق هدف محدد للانبعاثات تعديلات عديدة على معدلات الضرائب، وهو ما قد يكون صعباً للغاية من الناحية السياسية. ويعتمد اختيار الأداة - ضريبة الكربون أو مقايضة الكربون - بشكل أساسي على ما إذا كان صناع السياسات أكثر اهتماما بعدم اليقين بشأن الأسعار أو عدم اليقين بشأن الانبعاثات. إذا كنت ترى أن التأكد من الأسعار مهم لأنه يسمح بتخطيط أفضل على المدى الطويل، فمن الأفضل فرض ضريبة على الكربون. إذا كنت تعتقد أن هدف السياسة ذات الصلة يتلخص في خفض انبعاثات الكربون بمقدار محدد على وجه اليقين، فإن نهج مقايضة الانبعاثات هو الأفضل، على الرغم من أن ذلك قد يؤدي إلى بعض التقلبات في الأسعار. ويبدو أن هناك فرقاً عملياً آخر يتمثل في أن عائدات ضريبة الكربون يتم ردها في أغلب الأحيان إلى دافعي الضرائب أو استخدامها في الإنفاق الحكومي العام، في حين تستخدم عائدات مزادات مقايضة الكربون في كثير من الأحيان لدعم الاستثمارات "الخضراء" مثل الطاقة المتجددة، وكفاءة استخدام الطاقة، والحفاظ على الغابات. .

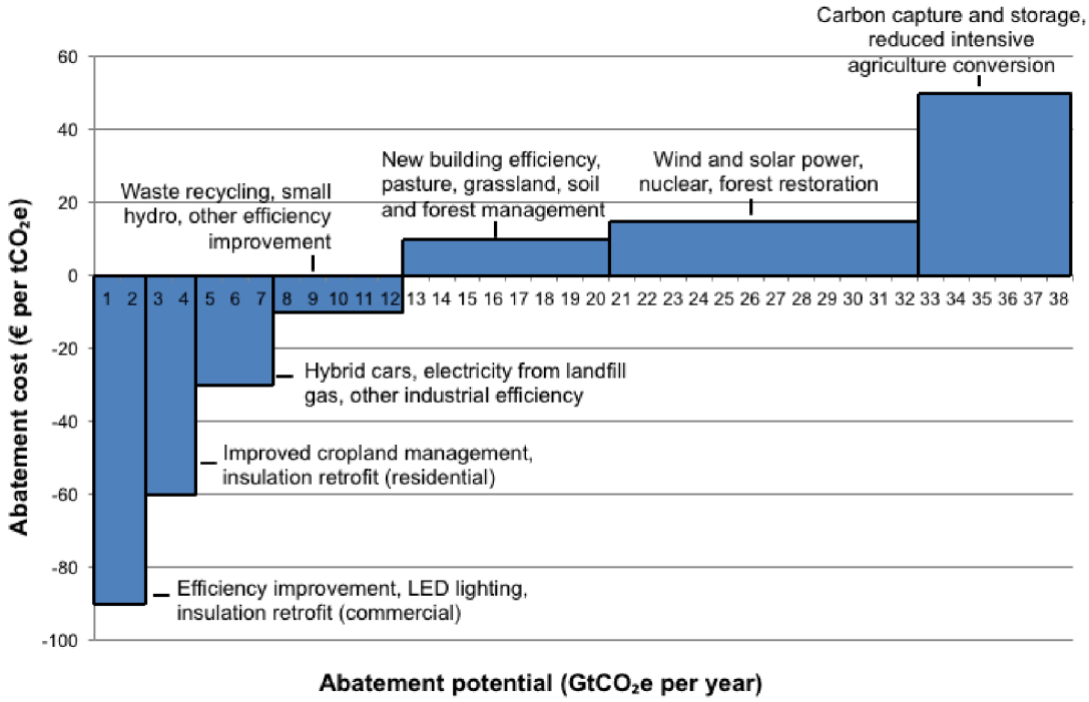
أدوات السياسة الأخرى: الإعانات والمعايير والبحث والتطوير ونقل التكنولوجيا

وقد تمنع العقبات السياسية تبني ضرائب الكربون الشاملة أو أنظمة التصاريح القابلة للتحويل. ومن حسن الحظ أن مجموعة متنوعة من التدابير السياسية الأخرى لديها القدرة على خفض انبعاثات الكربون. وحتى مع تنفيذ ضريبة الكربون على نطاق واسع أو نظام مقايضة الكربون، فقد تظل السياسات التكميلية ضرورية للحد من انبعاثات الكربون بالقدر الكافي للحفاظ على الانحباس الحراري ضمن مستويات مقبولة. ولا تعتبر هذه السياسات بشكل عام كافية في حد ذاتها، ولكنها قد تكون مكونات مهمة لنهج شامل. ويتم بالفعل تنفيذ هذه السياسات إلى حد ما في بلدان مختلفة. وتشمل هذه السياسات: • تحويل الدعم من الوقود المعتمد على الكربون إلى الوقود غير المعتمد على الكربون. تقدم العديد من البلدان حاليًا دعمًا مباشرًا أو غير مباشر للوقود الأحفوري. ومن شأن إلغاء هذا الدعم أن يغير التوازن التنافسي لصالح مصادر الوقود البديلة. وإذا أعيد توجيه نفقات الدعم هذه إلى مصادر الطاقة المتجددة، فقد يؤدي ذلك إلى تعزيز طفرة في الاستثمار في مصادر الطاقة المتجددة. • استخدام معايير الكفاءة للآلات والأجهزة، ومعايير الاقتصاد في استهلاك الوقود أو متطلبات الوقود منخفض الكربون. ومن خلال فرض معايير تتطلب قدراً أكبر من كفاءة الطاقة أو استخداماً أقل للكربون، يصبح من الممكن تغيير التكنولوجيات والممارسات لصالح مسار منخفض الكربون. • نفقات البحث والتطوير التي تشجع تسويق التكنولوجيات البديلة. ومن الممكن أن تؤدي برامج البحث والتطوير الحكومية والمعاملة الضريبية التفضيلية للشركات في مجال البحث والتطوير في مجال الطاقة البديلة إلى تسريع عملية التسويق. إن وجود تكنولوجيات "المساندة" غير الكربونية يقلل بشكل كبير من التكلفة الاقتصادية لتدابير مثل ضرائب الكربون، وإذا أصبح المساندة قادرة على المنافسة بشكل كامل مع الوقود الأحفوري، فإن ضرائب الكربون سوف تصبح غير ضرورية. • نقل التكنولوجيا إلى البلدان النامية. إن الجزء الأكبر من النمو المتوقع في انبعاثات الكربون سيأتي من العالم النامي. ويتم الآن تمويل العديد من مشاريع تنمية الطاقة من قبل وكالات مثل البنك الدولي وبنوك التنمية الإقليمية. وبقدر ما يمكن توجيه هذه الأموال نحو أنظمة الطاقة غير الكربونية وتنمية الطاقة البديلة، سيكون من الممكن اقتصاديا بالنسبة للبلدان النامية أن تتحول عن المسارات الكثيفة الاستخدام للوقود الأحفوري، وتحقيق فوائد بيئية محلية كبيرة في نفس الوقت.

تغير المناخ: التحدي الفني

إن مواجهة تحدي تغير المناخ تتطلب تغييراً سلوكياً وتغيراً تكنولوجياً. وتستخدم أدوات السياسة الاقتصادية، مثل ضرائب الكربون، والحد الأقصى والتجارة، والإعانات، الحوافز لتحفيز التغييرات في السلوك. على سبيل المثال، من شأن ضريبة الكربون التي ترفع سعر البنزين أن تخلق حوافز لتقليل القيادة أو شراء سيارة أكثر كفاءة في استهلاك الوقود. ولكن يمكننا أيضاً أن ننظر إلى تغير المناخ من منظور تقني وليس من منظور سلوكي. ومن الممكن أن تخلق السياسات الاقتصادية حوافز قوية للتغيرات التكنولوجية. وبسبب ارتفاع أسعار الغاز نتيجة لضريبة الكربون، فإن الطلب المتزايد على المركبات ذات الكفاءة العالية من شأنه أن يحفز شركات السيارات على توجيه المزيد من استثماراتها إلى السيارات الهجينة والكهربائية. وقد تناول تحليل معروف أجرته شركة ماكينزي آند كومباني، الخيارات الفنية المختلفة التي من شأنها أن تخلف تأثيراً على تخفيف غازات الدفيئة، أو تخفيضاتها على نطاق عالمي. ويعرض الشكل 21 نتائج تحليل ماكينزي. وقد تم ترتيب الخيارات المختلفة حسب التكلفة، من التكلفة الأقل إلى الأعلى. ويتلخص المنطق الاقتصادي في أنه من المنطقي تنفيذ الإجراءات الكفيلة بخفض الكربون بأقل تكاليف لكل وحدة أولاً ثم الانتقال بعد ذلك إلى إجراءات أكثر تكلفة.

الشكل 21. المنحنى العالمي لتكاليف خفض غازات الدفيئة لعام 2030



المصدر: مقتبس من شركة ماكينزي آند كومباني، 2009 و2013. ملاحظة: يتم تقدير التكاليف باليورو، لكن التحليل يغطي إمكانيات التخفيض على مستوى العالم.

هذا الرقم يحتاج إلى القليل من الشرح. ويشير المحور "ص" إلى نطاق التكلفة لكل خيار من خيارات التخفيض، مقاسًا باليورو لكل طن من تخفيض ثاني أكسيد الكربون سنويًا (أو مبلغ يعادل طنًا واحدًا من ثاني أكسيد الكربون للتخفيضات في الغازات الأخرى مثل الميثان). يمثل سمك الشريط كمية انبعاثات ثاني أكسيد الكربون التي يمكن تجنبها من خلال كل إجراء. تكلفة السياسات مثل عزل المباني وزيادة الكفاءة وإعادة تدوير النفايات تقع في النطاق السلبي. وهذا يعني أن هذه السياسات من شأنها أن توفر المال في واقع الأمر، بصرف النظر عن تأثيرها على انبعاثات ثاني أكسيد الكربون. لذا، فحتى لو لم نهتم بتغير المناخ والبيئة، فمن المنطقي عزل المباني وزيادة الأجهزة وإعادة تدوير النفايات، على أسس مالية طويلة الأجل فقط. ويخبرنا المحور السيني بالانخفاض التراكمي في الانبعاثات المكافئة لثاني أكسيد الكربون، نسبة إلى سيناريو "العمل كالمعتاد"، إذا أردنا تنفيذ كل الإجراءات على اليسار. لذا، إذا كان لنا أن ننفذ كل خيارات التكلفة السلبية، بما في ذلك تحسين كفاءة تكييف الهواء، وأنظمة الإضاءة، وتسخين المياه، فإن إجمالي التخفيض في مكافئ ثاني أكسيد الكربون سوف يصل إلى نحو مليار طن سنوياً، وكل هذا مع توفير المال! بالانتقال إلى اليمين، يتم تحديد الإجراءات التي تنطوي على تكاليف إيجابية. وبعبارة أخرى، فإن كل هذه الإجراءات الأخرى تكلفنا المال لتقليل انبعاثات ثاني أكسيد الكربون. ويبين الشكل 21 جميع الإجراءات التي تعمل على الحد من انبعاثات ثاني أكسيد الكربون بتكلفة أقل من 60 يورو للطن، بما في ذلك التوسع في طاقة الرياح والطاقة الشمسية، وتوسيع الطاقة النووية، وتحسين إدارة الغابات وإعادة التشجير، وتنفيذ احتجاز الكربون وتخزينه. وإذا تم تنفيذ كل هذه الإجراءات، فإن إجمالي التخفيض في مكافئ ثاني أكسيد الكربون سوف يصل إلى 38 مليار طن سنوياً. ويبلغ إجمالي الانبعاثات العالمية لمكافئ ثاني أكسيد الكربون، بما في ذلك جميع الغازات المسببة للانحباس الحراري العالمي والانبعاثات الناجمة عن تغير استخدام الأراضي، نحو 50 مليار طن سنويا، ومن المتوقع أن يرتفع إلى حوالي 70 جيجا طن بحلول عام 2030. وبالتالي، بدلا من إطلاق 70 جيجا طن سنويا في عام 2030، فإننا سوف تنبعث منها 32 جيجا طن فقط، أي بانخفاض قدره 18 جيجا طن عن المستويات الحالية. ومن الممكن تحقيق المزيد من التخفيض بتكلفة أعلى قليلاً،

خاصة من خلال التوسع الأكثر شمولاً في طاقة الرياح والطاقة الشمسية. (هذا التحليل لا يأخذ في الاعتبار التخفيضات المحتملة في تكاليف الطاقة المتجددة). وتقدر التكلفة الإجمالية لتنفيذ جميع الخيارات الواردة في الشكل 21، مع الأخذ في الاعتبار أن بعض الخيارات توفر المال بالفعل، بأقل من 1% من الناتج المحلي الإجمالي العالمي في عام 2030. ويشير التقرير إلى أن تأخير العمل لمدة عشر سنوات فقط يجعل إبقاء ارتفاع درجات الحرارة أقل من درجتين مئويتين. صعب للغاية.

تشمل توصيات السياسة لتحقيق التخفيضات الممثلة في الشكل 21 ما يلي: • وضع معايير فنية صارمة لكفاءة المباني والمركبات. • إنشاء حوافز مستقرة طويلة الأجل لمنتجي الطاقة والشركات الصناعية للاستثمار في التكنولوجيات الفعالة ونشرها. • توفير الدعم الحكومي لتكنولوجيات الكفاءة والطاقة المتجددة الناشئة، من خلال الحوافز الاقتصادية وغيرها من السياسات. • ضمان الإدارة الفعالة للغابات والزراعة، وخاصة في البلدان النامية.

4. سياسة تغير المناخ في الممارسة العملية

تغير المناخ هو قضية بيئية دولية. ومن الناحية النظرية الاقتصادية، يعد تغير المناخ قضية تتعلق بالصالح العام، (UNFCCC) وتتطلب التعاون العالمي لتحقيق نتائج فعالة. منذ إنشاء اتفاقية الأمم المتحدة الإطارية بشأن تغير المناخ COPs، لأول مرة في عام 1992، جرت مناقشات دولية واسعة النطاق، تُعرف باسم "مؤتمرات الأطراف" أو بهدف التوصل إلى اتفاق عالمي بشأن خفض الانبعاثات (انظر الجدول 5) . .

Table 5. Important Events in International Climate Change Negotiations

Year, Location	Outcome
1992، ريو دي جانيرو	اتفاقية الأمم المتحدة الإطارية بشأن تغير المناخ. تتفق البلدان على خفض الانبعاثات من خلال "مسؤوليات مشتركة ولكن متباينة".
1995، برلين	الولايات المتحدة .COP المؤتمر السنوي الأول للأطراف في الإطار، المعروف باسم توافق على إعفاء الدول النامية من الالتزامات الملزمة.
1997، كيوتو	تمت الموافقة على بروتوكول كيوتو، الذي (COP-3) وفي المؤتمر الثالث للأطراف يقضي بتكليف البلدان المتقدمة بخفض انبعاثات الغازات المسببة للاحتباس الحراري مقارنة بالانبعاثات الأساسية بحلول الفترة 2008-2012
2001، بون	يتوصل إلى اتفاق بشأن شروط الامتثال والتمويل. إدارة بوش ترفض (COP-6) بروتوكول كيوتو؛ والولايات المتحدة مجرد مراقب في المحادثات.
2009، كوبنهاجن	وقد فشل مؤتمر الأطراف الخامس عشر في التوصل إلى اتفاق ملزم لمرحلة ما بعد كيوتو، ولكنه أعلن أهمية الحد من ارتفاع درجات الحرارة بما لا يتجاوز درجتين مئويتين. وتعهدت الدول المتقدمة بتقديم 100 مليار دولار كمساعدات مناخية للدول النامية.

ديربان، 2011	على اعتماد اتفاقية قانونية عالمية بشأن تغير (COP-17) واتفقت الدول المشاركة في المناخ في أقرب وقت ممكن، وفي موعد أقصاه عام 2015، على أن تدخل حيز التنفيذ بحلول عام 2020.
باريس، 2015	وقعت 195 دولة على اتفاق باريس، الذي ينص على الإجراءات التطوعية COP-21 العالمية (NDC) من قبل البلدان الفردية.

كان أول اتفاق دولي شامل بشأن تغير المناخ هو بروتوكول كيوتو، الذي تم تبنيه في مؤتمر الأطراف الثالث في عام 1997، والذي انتهت صلاحيته الآن. تحت بموجب معاهدة كيوتو، وافقت الدول الصناعية على أهداف خفض الانبعاثات بحلول عام 2008-2012 مقارنة بانبعاثاتها الأساسية المحددة بمستويات عام 1990. على سبيل المثال، وافقت الولايات المتحدة على خفض بنسبة 7%، وفرنسا على خفض بنسبة 8%، واليابان على خفض بنسبة 6%. وكان متوسط الهدف هو خفض بنحو 5% مقارنة بمستويات عام 1990. ولم تكن الدول النامية مثل الصين والهند ملزمة بأهداف الانبعاثات بموجب المعاهدة، وهو إغفال احتجت عليه الولايات المتحدة وبعض الدول الأخرى. في عهد الرئيس جورج دبليو بوش، رفضت الولايات المتحدة التصديق على بروتوكول كيوتو. ولكن على الرغم من انسحاب الولايات المتحدة، دخل بروتوكول كيوتو حيز التنفيذ في أوائل عام 2005. وكانت نتائج بروتوكول كيوتو مختلطة. قامت بعض الدول، مثل كندا والولايات المتحدة، بزيادة الانبعاثات بدلاً من خفضها؛ انسحبت كندا من البروتوكول، ولم تنضم إليه الولايات المتحدة مطلقًا. وقد حققت بعض الدول الأوروبية أهدافها أو تجاوزتها، في حين فشلت دول أخرى في تحقيقها. لقد تجاوزت روسيا وأغلب دول أوروبا الشرقية أهدافها إلى حد كبير، ليس نتيجة لسياسة متعمدة بل كنتيجة ثانوية للانهيار الاقتصادي الشيوعي في أوائل التسعينيات. لقد تم تحقيق هدف كيوتو الإجمالي من الناحية الفنية، ولكن فقط نتيجة لهذا الانخفاض الكبير في الانبعاثات في روسيا وأوروبا الشرقية. بالإضافة إلى ذلك، نحن بحاجة إلى النظر في آثار التجارة. وفي إطار كيوتو، تم تخصيص الانبعاثات المنطلقة أثناء إنتاج السلع إلى البلد الذي يتم فيه الإنتاج، وليس إلى البلد الذي يتم فيه استهلاك السلع. ولذلك فإن "الاستعانة بمصادر خارجية" لانبعاثات الكربون من خلال الواردات من البلدان النامية، وخاصة الصين، لم يتم تضمينها في الحسابات الرسمية. وبالنظر إلى البصمة الكربونية للدولة بأكملها مع أخذ التجارة في الاعتبار، فإن التقدم المحرز في ظل بروتوكول كيوتو كان محدودا للغاية، مع انخفاض مدخرات أوروبا إلى 1% فقط من عام 1990 إلى عام 2008، وشهد العالم المتقدم ككل ارتفاع انبعاثاته بنسبة 7% في نفس الفترة. (25% للولايات المتحدة، عندما يتم تضمين التجارة). فضلاً عن ذلك فإن بروتوكول كيوتو لم يضع أي قيود على الانبعاثات الصادرة عن البلدان النامية، واستمر إجمالي الانبعاثات العالمية في النمو أثناء فترة كيوتو. ولكن إذا كان بروتوكول كيوتو قد فشل في عدم قدرته على إبطاء الانبعاثات العالمية، فإنه قدم مع ذلك خطوة أولى مهمة في دبلوماسية المناخ العالمي، ومن إخفاقات كيوتو وتداعياته، تعلمت البلدان الدروس التي أثبتت فائدتها في المراحل اللاحقة من المناخ. تلك المفاوضات العالمية.

اتفاق باريس 2015

وبعد فشل الجهود الرامية إلى التوصل إلى اتفاق عالمي ملزم بشأن خفض الانبعاثات في الدورة الخامسة عشرة لمؤتمر الأطراف في كوبنهاجن في عام 2009، أصبح من الواضح على نحو متزايد للمفاوضين أن الأمر سوف يتطلب نهجاً آخر. ولم تتفق الأطراف في مؤتمر كوبنهاجن إلا على أن الهدف من الجولات المقبلة من المفاوضات يتلخص في الإبقاء على ارتفاع درجات الحرارة العالمية عند مستوى أدنى من درجتين مئويتين فوق مستويات ما قبل الصناعة. وكانت نقطة الخلاف الأكثر إثارة للجدل هي مسألة ما إذا كان ينبغي للبلدان النامية أن تلتزم بالتخفيضات الإلزامية في الانبعاثات. وفي حين زعمت بعض البلدان، وخاصة الولايات المتحدة، أن جميع المشاركين يجب أن يتفقوا على التخفيضات، فقد أكدت البلدان النامية أن التخفيضات الإلزامية من شأنها أن تحد من

تنميتها الاقتصادية وتعزز عدم المساواة العالمية القائمة. وبعد فشل كوبنهاجن، تم رفض فكرة التوصل إلى اتفاق ملزم باعتبارها غير قابلة للتنفيذ. وبدلاً من ذلك، توصل المفاوضون إلى فكرة مفادها أن البلدان ستقترح بدلاً من ذلك أهدافها الطوعية الخاصة ـ على أمل أن تشعر البلدان في نهاية المطاف "بضغط الأقران" لوضع الأهداف الأكثر طموحاً في متناول أيديها. وقد أرست هذه الاستراتيجية التفاوضية الجديدة الأسس للاتفاق العالمي الذي تم في باريس. وفي الأشهر التي سبقت انعقاد مؤتمر (COP21) التوصل إليه في المؤتمر الحادي والعشرين للأطراف الأطراف الحادي والعشرين، قدمت 186 دولة مساهماتها المقترحة المحددة وطنيا ـ مما يشير إلى استعدادها للمساهمة في الحد من انبعاثات ثاني أكسيد الكربون العالمية. يعبر اتفاق باريس، الذي تفاوض عليه 195 وفدا وطنيا، رسميا عن الهدف العالمي المتمثل في الحفاظ على درجات الحرارة بما لا يزيد عن درجتين مئويتين فوق مستويات ما قبل الصناعة، مع هدف أكثر طموحا يبلغ 1.5 درجة مئوية. وبما أن المجموع الحالي لتعهدات البلدان (NDCs) ،هو لا يكفي لتأمين الهدف العالمي المتمثل في إبقاء ارتفاع درجة الحرارة أقل من درجتين مئويتين ويتضمن الاتفاق دورات مدتها 5 سنوات للدول لمراجعة أهدافها وزيادة أهدافها، من أجل الوصول إلى أهداف أكثر طموحا. وقد تم تصميم عملية التفاوض بحيث تمارس الضغط على كل دولة لحملها على الامتثال لتعهداتها وزيادتها مع مرور الوقت.

تم تضمين نظام قوي للشفافية والمساءلة في الاتفاقية، بناءً على عمليات الجرد المنتظمة، والتقارير المنتظمة عن التقدم الذي تحرزه البلدان نحو تحقيق أهدافها، والمراجعة المنتظمة من قبل فرق الخبراء. دخلت اتفاقية باريس حيز التنفيذ، حيث صادقت أكثر من 80 دولة تمثل أكثر من 60% من الانبعاثات العالمية على الاتفاقية بحلول نهاية عام 2016، بعد عام واحد فقط من التفاوض عليها، وهي سرعة قياسية للاتفاقيات الدولية. وعلى الرغم من الرفض اللاحق للاتفاق من قِبَل إدارة ترامب في الولايات المتحدة، إلا أن الاتفاق يظل ساري المفعول ـ على الرغم من أن الالتزام بالأهداف أمر طوعي. وتم الاتفاق في أكتوبر 2015 على اتفاق ملزم ذي صلة يضع جداول زمنية محددة وهي غازات دفيئة قوية تستخدم في مكيفات الهواء، (HFCs) للقضاء على إنتاج مركبات الهيدروفلوروكربون والثلاجات. وينص اتفاق باريس أيضا على مواصلة الدعم المالي والفني للدول النامية لمساعدتها على التكيف مع العواقب المدمرة لتغير المناخ، فضلا عن دعم التحول بعيدا عن الوقود الأحفوري نحو مصادر الطاقة المتجددة الأنظف. وتضمنت الاتفاقية بندًا بشأن الخسائر والأضرار يعترف بأهمية معالجة الآثار الضارة الناجمة عن تغير المناخ في البلدان النامية. في حين أن الاتفاقية لا تقبل المسؤولية أو تنص على تعويض، إلا أنها توفر عدة شروط حيث يمكن تقديم الدعم. وبدءًا من عام 2020، تعهدت الدول الصناعية بتقديم 100 مليار دولار سنويًا كمساعدات مالية وفنية للدول النامية لمكافحة تغير المناخ.

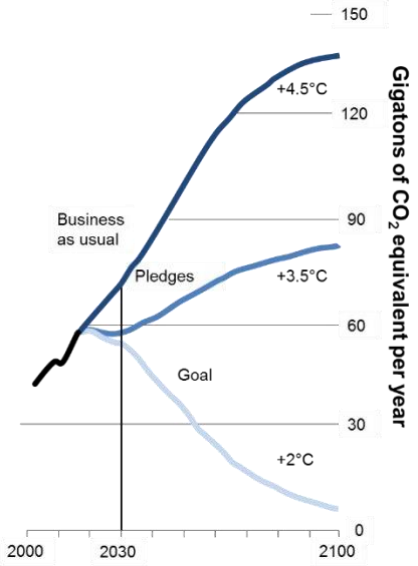
لقد حذرت أصوات عديدة في العالم النامي من أن مبلغ 100 مليار دولار سوف يكون أقل كثيراً من المطلوب حقاً، وأن الرقم المحافظ سوف يكون أقرب إلى 600 مليار دولار، وهو ما يعادل نحو 1,5% من الناتج المحلي الإجمالي للدول الصناعية. وتشير بعض التقديرات الصادرة عن منظمات، من البنك الدولي إلى المعهد الدولي لتحليل النظم التطبيقية في فيينا، إلى أن المبالغ المطلوبة قد تصل إلى 1.7 أو حتى 2.2 تريليون دولار سنوياً.

ما مدى كفاية أو عدم كفاية الالتزامات؟

تقدم منظمة مستقلة، اسمها "Climate Action Tracker"، تقييمات وتصنيفات للمساهمات المحددة وطنيًا المقدمة. وفقًا لنظام التصنيف الخاص بها، تم تصنيف الولايات المتحدة على أنها "متوسطة" لالتزامها، وتم تصنيف الصين على أنها "متوسطة مع هدف غير كافٍ لكثافة الكربون"، وتم تصنيف الاتحاد الأوروبي أيضًا على أنه "متوسط". وينطبق هذا التصنيف "المتوسط" للولايات المتحدة على التزام إدارة أوباما بخفض انبعاثات غازات الدفيئة بنسبة 26-28 في المائة عن مستواها في عام 2005 في عام 2025 وبذل قصارى جهدها لخفض انبعاثاتها بنسبة 28 في المائة. ومن المرجح أن هذا التصنيف أصبح الآن عفا عليه الزمن، حيث أعربت إدارة ترامب عن عدم رغبتها في الامتثال

لالتزامات الإدارة السابقة بشأن المناخ، وانسحبت من اتفاق باريس تماما. ويصنف متتبع العمل المناخي الالتزامات التي بذلتها قائمة طويلة من البلدان، بما في ذلك روسيا واليابان وأستراليا ونيوزيلندا وكندا والأرجنتين وجنوب أفريقيا وتشيلي وتركيا، على أنها "غير كافية". يوضح الشكل 22 الاختلافات بين مسار الانبعاثات المعتاد، والمسار الذي قد ينتج عن التجميع الحالي لالتزامات المساهمات المحددة وطنيًا، والمسار الذي قد يكون ضروريًا للوصول إلى درجتين مئويتين (3.6 درجة فهرنهايت) أو أقل.

الشكل 22. العمل كالمعتاد، وتعهدات باريس، ومسار الدرجتين المئويتين



المصدر: http://www.nytimes.com/interactive/2015/11/23/world/carbon-pledges.html?_r=1
ملحوظة: 2 درجة مئوية = 3.6 درجة فهرنهايت؛ 3.5 درجة مئوية = 6.3 درجة فهرنهايت؛ 2 4.5 درجة مئوية = 8.1 درجة فهرنهايت.

لا تمتد معظم التعهدات الحالية إلى ما بعد عام 2030، ولهذا السبب تبدأ الانبعاثات في الارتفاع مرة أخرى بعد عام 2030 في الشكل 22. ومن الواضح أن هناك حاجة إلى تعزيز كبير للتعهدات قبل ذلك التاريخ للحفاظ على إجمالي الانبعاثات عند مستوى درجتين مئويتين - ناهيك عن 1.5 درجة مئوية. ج.

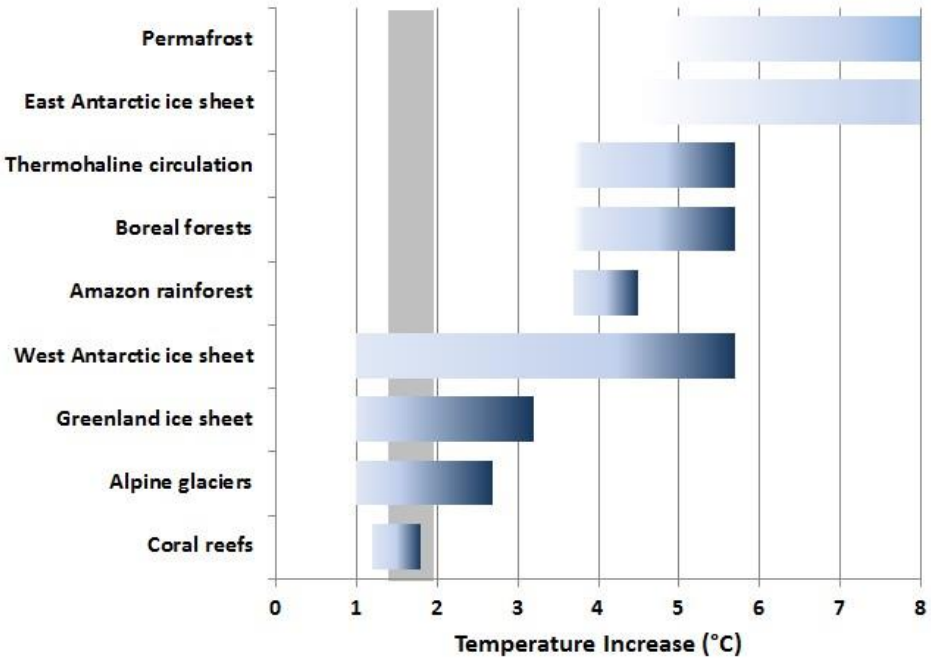
وفقًا لتحليل متتبع العمل المناخي، إذا تم الحفاظ على سياسات ذات قوة مماثلة لتلك الموجودة في المساهمات المحددة وطنيًا الحالية بعد عام 2030، فإنها ستؤدي إلى ارتفاع متوسط في درجات الحرارة يبلغ حوالي 2.7 درجة مئوية (4.8 درجة فهرنهايت) بحلول عام 2100 - أفضل من 3.5 درجة مئوية. درجة مئوية (6.3 درجة فهرنهايت) كما هو موضح في الشكل 22 للالتزامات الحالية، ولكنها لا تزال تتجاوز أهداف باريس بكثير. (للاطلاع على منظور علمي حول أهمية الوصول إلى هدف درجتين مئويتين أو حتى 1.5 درجة مئوية، انظر الإطار 6). لمعرفة ما هو مطلوب لتحقيق هدف 2 درجة مئوية أو 1.5 درجة مئوية، فإن مفهوم ميزانية الكربون العالمية مفيد. تحاول ميزانية الكربون العالمية تحديد كمية الانبعاثات التراكمية للكربون التي يمكن إضافتها إلى الغلاف الجوي دون تجاوز الزيادات المحددة في درجات الحرارة. ومن أجل الوصول إلى هدف الدرجتين المئويتين، فمن الضروري أن نحافظ على ميزانية الكربون العالمية التراكمية بما لا يزيد عن 270 جيجا طن إضافية من الكربون - أي حوالي 30 عاما من الانبعاثات عند المستويات الحالية. وللوصول إلى هدف 1.5 درجة مئوية، يجب أن تبلغ الميزانية 110 جيجا طن فقط - أي حوالي 12 عامًا من الانبعاثات بالمعدلات الحالية. إن التزامات باريس الحالية غير كافية لتحقيق هذه الأهداف، دون تعزيز الالتزامات بشكل كبير في جولات المفاوضات المقبلة.

الإطار 6. الأساس العلمي لأهداف باريس بشأن المناخ

وقد قننت اتفاقية باريس هدفا ألا يزيد ارتفاع درجة الحرارة عن درجتين مئويتين، مع هدف أكثر طموحا ألا يزيد عن 1.5 درجة مئوية. ما هو سبب هذه الأهداف؟ تشير دراسة أجريت عام 2016 إلى أن أهداف درجة الحرارة المختارة في باريس هي الأهداف الصحيحة علميا من خلال مقارنة هذه الأهداف باحتمال حدوث خسائر كارثية مختلفة لا رجعة فيها، مثل فقدان الأنهار الجليدية في جبال الألب أو فقدان غابات الأمازون المطيرة. قام المؤلفون بتقييم الأبحاث المتاحة لتحديد نطاق درجة الحرارة الذي من المتوقع أن يحدث فيه كل تأثير. وهذا مبين في الشكل 23. ويعكس الحد الأقصى لكل تأثير عدم اليقين العلمي بشأن مقدار الارتفاع الذي يجب أن ترتفع درجات الحرارة لجعل هذا التأثير حتميا. كلما كان التظليل أغمق، كلما زاد احتمال ،حدوث التأثير. لذلك، على سبيل المثال، إذا ارتفع متوسط درجات الحرارة العالمية بمقدار درجة واحدة فقط فهناك احتمال ضئيل لفقد الأنهار الجليدية في جبال الألب. ولكن إذا ارتفعت درجات الحرارة أكثر من 2.5 درجة مئوية، فمن شبه المؤكد أن الأنهار الجليدية في جبال الألب ستختفي بناءً على البحث الحالي. يمثل الشريط الرأسي نطاق الأهداف المناخية لباريس، من 1.5 درجة مئوية إلى 2.0 درجة مئوية. وبمقارنة هذه الأهداف بالتأثيرات المختلفة، نرى أن الحد من ارتفاع درجة الحرارة إلى 1.5 درجة مئوية يوفر فرصة لعدم فقدان الشعاب المرجانية في العالم. ولكن عند درجة حرارة درجتين مئويتين، فمن المؤكد تقريبًا أن الشعاب المرجانية لن تبقى على قيد الحياة. وإذا أمكن تحقيق هدف الدرجتين المئويتين، فإن التوقعات ستكون أفضل لتجنب فقدان الأنهار الجليدية في جبال الألب، والغطاء الجليدي في جرينلاند، والغطاء الجليدي في غرب ،القطب الجنوبي، على الرغم من وجود قدر كبير من عدم اليقين. عند درجة حرارة 4–6 درجات مئوية تصبح غابات الأمازون والغابات الشمالية والغطاء الجليدي في شرق القطب الجنوبي والتربة الصقيعية معرضة للخطر، كما هو الحال مع الدورة الحرارية الملحية في المحيطات، بما في ذلك تيار الخليج، الذي يبقي معظم أوروبا معتدلة نسبيًا على الرغم من خطوط العرض المرتفعة. ويخلص المقال إلى أن تحقيق :أهداف باريس، رغم طموحها، أمر ضروري

وبعد تجاوز درجتين مئويتين، سيكون المسار مهيأ لذوبان الجليد الكامل في نصف الكرة الشمالي، مما يهدد بقاء العديد من المدن الساحلية والدول الجزرية. سوف تتعرض الإمدادات الغذائية العالمية للخطر بسبب أنظمة الأحداث المتطرفة الجديدة، والنظم البيئية الرئيسية مثل الشعاب المرجانية التي ستضطر إلى الانقراض. ومع ذلك، فإن البقاء ضمن النطاق المستهدف لاتفاقية باريس، فإن ديناميكيات نظام الأرض الشاملة ستظل سليمة إلى حد كبير. من ناحية أخرى، فإن التقدم [المزيد] مع وصول ظاهرة الاحتباس الحراري إلى 3-5 درجات مئوية، من شأنه أن [يخاطر بمعظم التأثيرات] بشكل جدي. وإذا تجاوزت مستويات الانحباس الحراري هذا النطاق، فمن المحتم أن يختفي العالم كما نعرفه. – شيلنهوبر ،وآخرون، 2016. المصادر: شيلنهوبر وآخرون، 2016. ملاحظة: يمثل الشريط الرأسي نطاق الأهداف المناخية لباريس من 1.5 درجة مئوية إلى 2.0 درجة مئوية

الشكل 23. أهداف باريس المناخية والآثار العالمية الكارثية



المصدر: شيلنهوبر وآخرون، 2016. ملاحظة: يمثل الشريط الرأسي نطاق الأهداف المناخية لباريس، من 1.5 درجة مئوية إلى 2.0 درجة مئوية

الإجراءات الإقليمية والوطنية والمحلية

ورغم استمرار الجهود الدولية لإنشاء إطار للحد من الانبعاثات، فقد تم تنفيذ السياسات على المستويات الإقليمية والوطنية والمحلية. وتشمل هذه: • ولمساعدته على الوفاء بالتزاماته بموجب بروتوكول كيوتو، أنشأ الاتحاد الأوروبي نظاماً لتجارة الكربون دخل حيز التنفيذ في عام 2005 (انظر الإطار 7). • كما تم إنشاء أنظمة تجارة هي برنامج (RGGI) الكربون في العديد من المناطق في الولايات المتحدة. المبادرة الإقليمية للغازات الدفيئة للحد من الانبعاثات من محطات توليد الطاقة ومقايضتها في تسع ولايات شمال شرق البلاد. يتم بيع التصاريح في الغالب بالمزاد العلني (يباع بعضها بسعر ثابت)، مع استخدام العائدات لتمويل الاستثمارات في الطاقة النظيفة .وكفاءة الطاقة. تراوحت أسعار مزاد التصاريح من حوالي 2 إلى 5 دولارات للطن من ثاني أكسيد الكربون وفي عام 2013، أطلقت ولاية كاليفورنيا خطة ملزمة قانونا لتحديد سقف للانبعاثات ومتاجرتها. "يفرض البرنامج حدا لانبعاث الغازات الدفيئة سينخفض بنسبة اثنين في المائة سنويا حتى عام 2015، وبنسبة ثلاثة في المائة سنويا من عام 2015 حتى عام 2020."

الإطار 7. نظام تجارة الكربون التابع للاتحاد الأوروبي

والتي تغطي أكثر من 11 ألف ،(EUETS) في عام 2005، أطلق الاتحاد الأوروبي خطة تداول الانبعاثات منشأة تنتج مجتمعة ما يقرب من نصف انبعاثات الكربون في الاتحاد الأوروبي. وفي عام 2012، تم توسيع النظام ليشمل قطاع الطيران، بما في ذلك الرحلات الجوية القادمة من خارج الاتحاد الأوروبي. وبموجب تقوم كل دولة بتطوير خطة تخصيص وطنية لتحديد العدد الإجمالي للتصاريح المتاحة. يتم بيع ،EUETS التصاريح بالمزاد العلني وتخصيصها لبعض الشركات مجانًا بناءً على الانبعاثات التاريخية. يمكن بيع أي تصاريح غير ضرورية في السوق المفتوحة. أنتجت المرحلة الأولية (2005-2007) من نظام الاتحاد الأوروبي لمقايضة الانبعاثات نتائج مخيبة للآمال حيث تم تخصيص التصاريح بشكل مفرط، مما أدى إلى انخفاض سعر التصريح من أكثر من 30 يورو للطن إلى أقل من 1 يورو بحلول نهاية عام 2007. وفي المرحلة الثانية (2008-2012)، تم تخصيص عدد أقل من التصاريح في البداية، مما أدى إلى استقرار الأسعار نسبيًا بحوالي 15-20 يورو/طن لبضع سنوات. ولكن بحلول منتصف عام 2012، انخفضت الأسعار إلى 5 - 10 يورو/طن حيث شهد السوق مرة أخرى وفرة من التصاريح. على الرغم من تقلب الأسعار، وفقًا للاتحاد الأوروبي، أدى نظام مقايضة الانبعاثات التابع للاتحاد الأوروبي إلى انخفاض في الانبعاثات من بواعث كبيرة بنسبة 8 بالمائة بين عامي 2005 و2010. كما أن تكاليف نظام مقايضة الانبعاثات التابع للاتحاد الأوروبي كانت أقل من المتوقع، حوالي 0.5 بالمائة من الناتج المحلي الإجمالي الأوروبي. انتقل الاتحاد الأوروبي إلى المرحلة الثالثة من نظام مقايضة الاختبارات التربوية، والتي تغطي الفترة 2013-2020. وسوف تتطلب هذه المرحلة بيع المزيد من التصاريح بالمزاد العلني، بما في ذلك المزيد من الغازات المسببة للانحباس الحراري الكوكبي، وتحديد سقف شامل للاتحاد الأوروبي بدلاً من السماح للدول الفردية بتحديد الحد الأقصى الخاص بها. وبحلول نهاية المرحلة الثالثة، يتلخص هدف البرنامج في خفض إجمالي انبعاثات الاتحاد الأوروبي بنسبة 21% مقارنة بمستويات عام 1990، مع هدف آخر يتمثل في خفض الانبعاثات بنسبة 43% بحلول عام 2030.

المصادر: EU-ETS، http://ec.europa.eu/clima/policies/ets/index_en.htm؛ جروب وآخرون،

- تم فرض ضرائب على الكربون في العديد من البلدان، بما في ذلك ضريبة وطنية على الفحم في 2009 الهند (حوالي دولار واحد للطن، تم سنها في عام 2010)، وضريبة على المركبات الجديدة على أساس انبعاثاتها الكربونية في جنوب أفريقيا (تم سنها أيضًا في عام 2010)، ضريبة الكربون على الوقود في كوستاريكا (التي تم سنها في عام 1997)، وضرائب الكربون المحلية في مقاطعات كيبيك وألبرتا وكولومبيا البريطانية الكندية (انظر الإطار 8).

المربع 8. ضريبة الكربون في كولومبيا البريطانية: قصة نجاح

وفي عام 2008، فرضت مقاطعة كولومبيا البريطانية الكندية، على ساحل المحيط الهادئ، ضريبة على الكربون بقيمة 10 دولارات لكل طن من ثاني أكسيد الكربون (بالدولار الكندي). وترتفع الضريبة تدريجياً

بمقدار 5 دولارات في كل عام لاحق، حتى بلغت 30 دولاراً في عام 2012. وهذا يترجم إلى 26 سنتاً إضافية عن كل جالون من البنزين في محطات الضخ، مع زيادات مماثلة في الأسعار في مصادر الطاقة الأخرى القائمة على الكربون. تعتبر ضريبة الكربون محايدة للإيرادات، مما يعني أن المقاطعة خفضت ضرائب الدخل والشركات لتعويض الإيرادات التي تحصل عليها من فرض الضرائب على الكربون. تتمتع كولومبيا البريطانية الآن بأدنى معدل ضريبة على الدخل الشخصي في كندا، وواحد من أدنى معدلات ضريبة الشركات بين البلدان المتقدمة. وفي السنوات الست الأولى من تنفيذه، انخفض استهلاك الوقود بنسبة ،تتراوح بين 5% و15% في كولومبيا البريطانية، بينما ارتفع بنحو 3% في بقية أنحاء كندا. خلال تلك الفترة استمر نصيب الفرد من الناتج المحلي الإجمالي في النمو في كولومبيا البريطانية، بوتيرة أعلى قليلاً من بقية كندا. ومن خلال خفض الضرائب على الدخل وعلى الشركات، شجعت هذه السياسة تشغيل العمالة والاستثمار، في حين عملت على تثبيط التلوث الكربوني. وقد أشادت منظمة التعاون الاقتصادي والتنمية والبنك الدولي بتجربة كولومبيا البريطانية باعتبارها مثالاً ناجحاً يحتذى به. وقد توصلت دراسة حديثة إلى أن تأثيرات الضريبة كانت ضئيلة على الاقتصاد، وأنها تغلبت على المعارضة الأولية لكسب الدعم الشعبي العام. اعتبارًا من عام 2016، خططت الحكومة الكندية لتوسيع نطاق الضريبة لتشمل كندا بأكملها.

Sources: The World Bank, Development in a changing climate. British Columbia's carbon tax shift: an environmental and economic success. Sept. 10, 2014; The British Columbia's carbon tax: evidence mounts. July 31, 2014, Ministry of Finance, British Columbia, Carbon Tax: overview of the revenue-neutral carbon tax; Murray and Rivers, 2015; Metcalf, 2015; http://www.nationalobserver.com/2016/10/03/news/breaking-feds-announce-pancanadian-carbon-price-plan-2018.

- تم تنظيم شبكات المدن أيضًا لمعالجة تغير المناخ. وقد ركزت شبكة المدن الكبرى • الأربعين، التي تمثل 25% من الناتج المحلي الإجمالي العالمي، على قياس الانبعاثات الحضرية والحد منها. وتم إطلاق شبكة أخرى، وهي "اتفاق رؤساء البلديات"، وهو تحالف عالمي يضم أكثر من 500 %مدينة، في عام 2014 لتحقيق أهداف مماثلة. بحلول عام 2050، من المتوقع أن يعيش ما بين 65 و75% من سكان العالم في المدن، مع انتقال أكثر من 40 مليون شخص إلى المدن كل عام. وسوف ينمو عدد سكان المناطق الحضرية من حوالي 3.5 مليار نسمة الآن إلى 6.5 مليار نسمة بحلول عام 2050. وتشير التقديرات إلى أن ويشير ذلك إلى أن المدن مسؤولة عن 75% من انبعاثات ثاني أكسيد الكربون العالمية، حيث تعد وسائل النقل والمباني من بين أكبر المساهمين. • بعد انسحاب الولايات ،المتحدة من اتفاق باريس، قام ائتلاف من الولايات الأمريكية بتشكيل تحالف الولايات المتحدة للمناخ وتعهدوا بتعزيز جهودهم للحد من الغازات الدفيئة لتعويض عدم اتخاذ إجراءات فيدرالية، والسعي للوفاء باتفاقية باريس أو تجاوزها. الأهداف.

الغابات والتربة

وفي حين كان التركيز الرئيسي لسياسة المناخ منصباً على الحد من الانبعاثات الناجمة عن الوقود الكربوني، فإن دور الغابات والتربة يشكل أيضاً أهمية بالغة. في الوقت الحالي، يأتي حوالي 11% من انبعاثات الغازات الدفيئة من تغير استخدام الغابات والأراضي، وخاصة فقدان الغابات الاستوائية. كما أدت المفاوضات الدولية إلى تبني برنامج يعرف (خفض الانبعاثات الناجمة عن إزالة الغابات وتدهورها). وقد اعترف اتفاق كوبنهاجن (2009) بالحاجة REDD باسم

إلى العمل على خفض الانبعاثات الناجمة عن إزالة الغابات وتدهورها، وأنشأ آلية تعرف باسم المبادرة المعززة ويؤكد الاتفاق على توفير التمويل للبلدان .(REDD-plus) لخفض الانبعاثات الناجمة عن إزالة الغابات وتدهورها النامية لتمكينها من اتخاذ إجراءات بشأن التخفيف، بما في ذلك التمويل الكبير لمبادرة خفض الانبعاثات الناجمة عن والتكيف، وتطوير التكنولوجيا ونقلها، وبناء القدرات. بالإضافة إلى الحد ،(REDD-plus) إزالة الغابات وتدهورها من الانبعاثات، تتمتع الغابات والتربة بإمكانات هائلة لامتصاص الكربون وتخزينه. تخزن تربة الأرض 2500 مليار طن من الكربون، وهو ما يفوق كمية الكربون الموجودة في الغلاف الجوي (840 مليار طن) والنباتات (560 مليار طن) مجتمعة. ولكن تشير التقديرات إلى أن التربة قد استنفدت ما بين 50 إلى 70 في المائة من الكربون الطبيعي في القرن الماضي. على الصعيد العالمي، يمكن لهذه التربة المستنزفة إعادة امتصاص 80 إلى 100 مليار طن متري من ،الكربون سنويا، من خلال الزراعة المتجددة بما في ذلك: الزراعة المتعددة، وتغطية المحاصيل، والحراجة الزراعية وإعادة تدوير المغذيات، وتناوب المحاصيل، والإدارة السليمة للمراعي، وتعديلات التربة العضوية مثل السماد والفحم الحيوي. ومن المرجح أن تكون هذه الإمكانات الهائلة غير المستغلة لتخزين الكربون محور تركيز رئيسي لسياسة المناخ المستقبلية - وهو عامل حاسم في الجهود المبذولة للانتقال من مسار "التعهدات" الوسيط في الشكل 22 إلى مسار "الأهداف" الضروري للحفاظ على درجة الحرارة العالمية تغيير إلى ما لا يزيد عن 2 درجة مئوية.

خاتمة

إن تغير المناخ هو قضية تجسد قضايا العوامل الخارجية، وموارد الملكية المشتركة، والسلع العامة، والموارد المتجددة وغير المتجددة، وخصم التكاليف والفوائد مع مرور الوقت. ولها أبعاد اقتصادية وعلمية وسياسية وتكنولوجية. ولا يمكن للتحليل الاقتصادي وحده أن يستجيب بشكل كاف لمشكلة بهذا النطاق، ولكن النظرية والسياسة الاقتصادية لديها الكثير لتقدمه في البحث عن الحلول. إن الاستجابة الفعّالة لمشكلة تغير المناخ تتطلب قدراً أكبر من العمل الشامل على نطاق عالمي مقارنة بأي شيء تم تحقيقه حتى الآن. إن أدوات السياسة الاقتصادية التي تتمتع بالقدرة على تغيير أنماط استخدام الطاقة، والتنمية الصناعية، وتوزيع الدخل، تعتبر ضرورية لأي خطة للتخفيف من تغير المناخ أو التكيف معه. إن الأدلة على تأثيرات تغير المناخ واضحة بالفعل، وستصبح هذه القضية أكثر إلحاحًا مع استمرار تراكم غازات الدفيئة وارتفاع تكاليف الأضرار والتكيف مع المناخ (انظر الإطار 9).

المربع 9. بالنسبة للمدن الساحلية الأمريكية، يعد التكيف مع المناخ أمرًا ملحًا

.في أغسطس 2016، أدت الأمطار الغزيرة على طول ساحل الخليج إلى فيضانات مميتة في جنوب لويزيانا ومع خسائر تقدر بنحو 9 مليارات دولار، تعتبر هذه الكارثة الطبيعية الأسوأ في الولايات المتحدة منذ إعصار ساندي في أكتوبر/تشرين الأول 2012. وقد وجدت الإدارة الوطنية للمحيطات والغلاف الجوي أن الانحباس الحراري العالمي يزيد من فرص هطول مثل هذه الأمطار الغزيرة بنسبة 40٪ بسبب زيادة الرطوبة في الغلاف الجوي. جو أكثر دفئا. وبالفعل، تستثمر المدن الساحلية في جميع أنحاء الولايات المتحدة بكثافة للاستعداد للفيضانات المستقبلية. وتنفق مدينة فورت لودرديل بولاية فلوريدا ملايين الدولارات على إصلاح الطرق المتضررة والمصارف المتضررة بسبب فيضانات المد والجزر المتزايدة. قامت مدينة ميامي بيتش بزيادة الرسوم المحلية لتمويل خطة بقيمة 400 مليون دولار تتضمن رفع الشوارع وتركيب المضخات ورفع الجدران البحرية. قدرت تكلفة التكيف مع ارتفاع مستوى سطح البحر لمدينة نورفولك متوسطة الحجم بولاية فيرجينيا بنحو 1.2 مليار دولار، أو حوالي 5000 دولار لكل ساكن. وتشير هذه التكاليف بالنسبة للمدن .الفردية إلى أن حجم التكاليف بالنسبة للساحل الشرقي وساحل الخليج بأكمله سوف يصل إلى عدة تريليونات قد يتم فقدان 1.9 مليون منزل على الشاطئ تبلغ قيمتها الإجمالية 882 مليار دولار بسبب ارتفاع منسوب مياه البحر بحلول عام 2100. وفقًا لبعض المحللين الاقتصاديين، فإن احتمال حدوث انهيار في سوق العقارات الساحلية يمكن أن ينافس تأثيرات انهيار الدوت كوم والعقارات في عامي 2000 و2008. ويواجه البنتاغون أيضًا مشكلات تكيف كبيرة، حيث تواجه العديد من القواعد البحرية تحديات خطيرة. التهديدات .وأراضيهم معرضة لخطر الانقراض خلال هذا القرن

المصادر: جونا إنجل بروموينتش، "الفيضانات في الجنوب تشبه إلى حد كبير تغير المناخ" جديد يورك تايمز، 16 أغسطس 2016؛ هنري فاونتن، "العلماء يرون دفعة ناجمة عن تغير المناخ في فيضانات لويزيانا" نيويورك تايمز 7 سبتمبر 2016؛ جاستن ويليس، "لقد بدأت بالفعل فيضانات الساحل الناجمة عن ظاهرة الاحتباس الحراري" نيويورك تايمز، 3 سبتمبر 2016؛ إيان أوربينا، "مخاطر تغير المناخ يمكن أن تغمر العقارات الساحلية"، نيويورك تايمز، 24 نوفمبر 2016.

المصطلحات والمفاهيم الأساسية

- تدابير التكيف/استراتيجيات التكيف إجراءات مصممة للحد من حجم أو مخاطر الأضرار الناجمة عن تغير المناخ العالمي.
- تجنب التكاليف التكاليف التي يمكن تجنبها من خلال الحفاظ على البيئة أو تحسينها
- تكنولوجيات الطاقة "المساندة" مثل الطاقة الشمسية وطاقة الرياح التي يمكن أن تحل محل مصادر الطاقة الحالية، وخاصة الوقود الأحفوري
- العمل كالمعتاد هو سيناريو لا يُتوقع فيه حدوث تغييرات كبيرة في السياسة أو التكنولوجيا أو السلوك. الحد الأقصى
- والمتاجرة بنظام تصاريح قابل للتداول لانبعاثات التلوث.
- البصمة الكربونية إجمالي انبعاثات الكربون، المباشرة وغير المباشرة، الناتجة عن استهلاك دولة أو مؤسسة أو فرد.
- كثافة الكربون هي مقياس لانبعاثات الكربون لكل وحدة من الناتج المحلي الإجمالي
- يغرق الكربون أجزاء من النظام البيئي مع القدرة على امتصاص كميات معينة من ثاني أكسيد الكربون، بما في ذلك الغابات والمحيطات.
- ضريبة الكربون هي ضريبة لكل وحدة على السلع والخدمات بناءً على كمية ثاني أكسيد الكربون المنبعثة أثناء عملية الإنتاج أو الاستهلاك..
- لعدالة المناخية: التقاسم العادل لأعباء تغير المناخ وتكاليف استجابات السياسات.
- استقرار المناخ سياسة الحد من استخدام الوقود الأحفوري إلى مستوى لا يزيد من احتمالات تغير المناخ العالمي.
- مكافئ ثاني أكسيد الكربون (CO2e)، هو مقياس لإجمالي انبعاثات أو تركيزات غازات الدفيئة وتحويل جميع الغازات غير ثاني أكسيد الكربون إلى مكافئ ثاني أكسيد الكربون في تأثير الاحترار.
- تحليل التكلفة والعائد (CBA) هو أداة لتحليل السياسات التي تحاول تحقيق الدخل من جميع تكاليف وفوائد الإجراء المقترح لتحديد صافي الفائدة.
- تحليل فعالية التكلفة هو أداة سياسية تحدد النهج الأقل تكلفة لتحقيق هدف معين.
- موارد الملكية المشتركة هي الموارد المتاحة للجميع (غير قابلة للاستبعاد)، ولكن استخدام المورد قد يقلل من الكمية أو الجودة المتاحة للآخرين (المنافس).
- الملوثات التراكمية أو المخزونية هي الملوثات التي لا تتبدد أو تتحلل بشكل كبير بمرور الوقت ويمكن أن تتراكم في البيئة، مثل ثاني أكسيد الكربون ومركبات الكلوروفلوروكربون.
- التحول الضريبي المحايد توزيعيا هو تغيير في نمط الضرائب الذي يترك توزيع الدخل دون تغيير.

- لوائح معايير الكفاءة التي تفرض معايير الكفاءة للسلع، مثل معايير الاقتصاد في استهلاك الوقود للسيارات. مرونة الطلب وحساسية الكمية المطلوبة للأسعار؛ ويعني الطلب المرن أن الزيادة النسبية في الأسعار تؤدي إلى تغير نسبي أكبر في الكمية المطلوبة؛ الطلب غير المرن يعني أن الزيادة النسبية في الأسعار تؤدي إلى تغير بسيط. العدالة البيئية هي المعاملة العادلة للناس بغض النظر عن العرق أو اللون أو الأصل القومي أو الدخل، فيما يتعلق بتطوير وتنفيذ وإنفاذ القوانين واللوائح والسياسات البيئية. معدل الخصم هو المعدل السنوي الذي يتم به خصم المزايا أو التكاليف المستقبلية مقارنة بالمزايا أو التكاليف الحالية. تؤثر ردود الفعل على عملية التغييرات في النظام مما يؤدي إلى تغييرات أخرى إما أن تتعارض مع التغيير الأصلي أو تعززه. التكاليف والمنافع المستقبلية: الفوائد والتكاليف المتوقع حدوثها في المستقبل، وعادة ما تتم مقارنتها بالتكاليف الحالية من خلال الخصم. ميزانية الكربون العالمية مفهوم مفاده أن إجمالي الانبعاثات التراكمية

للكربون يجب أن يقتصر على كمية ثابتة من أجل تجنب العواقب الكارثية لتغير المناخ العالمي. تغير المناخ العالمي: التغيرات في المناخ العالمي، بما في ذلك درجة الحرارة، وهطول الأمطار، وتواتر العواصف وكثافتها، والتغيرات في دورات الكربون والمياه، والتي تنتج عن زيادة تركيزات غازات الدفيئة في الغلاف الجوي.

المشاعات العالمية موارد الملكية المشتركة العالمية مثل الغلاف الجوي والمحيطات. الاحتباس الحراري هو زيادة متوسط درجة الحرارة العالمية نتيجة للانبعاثات الناجمة عن الأنشطة البشرية. ظاهرة الاحتباس الحراري تأثير بعض الغازات في الغلاف الجوي للأرض على احتجاز الإشعاع الشمسي، مما يؤدي إلى زيادة درجات الحرارة العالمية وتأثيرات مناخية أخرى. الغازات الدفيئة مثل ثاني أكسيد الكربون والميثان التي تؤثر تركيزاتها في الغلاف الجوي على المناخ العالمي عن طريق حبس الإشعاع الشمسي. إجراءات الخيارات الأقل تكلفة التي يمكن اتخاذها بأقل تكلفة إجمالية. تكاليف التخفيض الحدية هي تكاليف التخفيض لوحدة إضافية واحدة من التلوث، مثل انبعاثات الكربون. التخفيض الطوعي المخطط لانبعاثات ثاني أكسيد الكربون، مقارنة بالانبعاثات (NDC): المساهمة المحددة وطنيا في عام 2015. تحمض المحيطات (COP-21) الأساسية، المقدمة من البلدان المشاركة في مؤتمر باريس للأطراف يزيد من حموضة مياه المحيطات نتيجة للكربون المذاب من ثاني أكسيد الكربون المنبعث في الغلاف الجوي. ضريبة (ضرائب) التلوث هي ضريبة لكل وحدة على أساس مستوى التلوث. المبدأ التحوطي هو الرأي القائل بأن السياسات يجب أن تأخذ في الاعتبار عدم اليقين من خلال اتخاذ خطوات لتجنب الأحداث ذات الاحتمالية المنخفضة ولكنها كارثية. التدابير الوقائية/الاستراتيجيات الوقائية الإجراءات المصممة للحد من مدى تغير المناخ عن طريق الحد من الانبعاثات المتوقعة من غازات الدفيئة. تقلب الأسعار والتغيرات السريعة والمتكررة في الأسعار، مما يؤدي إلى عدم استقرار السوق. الضرائب التصاعدية: الضرائب التي تشكل حصة أعلى من الدخل مع مستويات دخل أعلى. سلع السلع العامة المتاحة للجميع (غير حصرية) والتي لا يؤدي استخدامها من قبل شخص واحد إلى تقليل توفرها للآخرين هو برنامج للأمم المتحدة تم اعتماده (REDD) (غير منافسة). الحد من الانبعاثات الناجمة عن إزالة الغابات وتدهورها كجزء من عملية كيوتو لمفاوضات المناخ، ويهدف إلى تقليل الانبعاثات الناجمة عن إزالة الغابات وتدهور الأراضي. الضريبة التنازلية: ضريبة يتناقص فيها معدل الضريبة، كنسبة مئوية من الدخل، مع زيادة مستويات الدخل. سياسات التحول الضريبي المحايدة للإيرادات، والتي تم تصميمها لتحقيق التوازن بين الزيادات الضريبية على منتجات أو أنشطة معينة مع تخفيض الضرائب الأخرى، مثل تخفيض ضرائب الدخل التي تعوض الضريبة القائمة على الكربون. التكلفة الاجتماعية للكربون تقدير للتكلفة المالية لانبعاثات الكربون لكل وحدة، بما في ذلك التكاليف الحالية والمستقبلية. نقل التكنولوجيا هو عملية تبادل المعلومات أو المعدات التكنولوجية، وخاصة بين البلدان. التصاريح القابلة للتحويل (القابلة للتداول) هي التصاريح القابلة للتداول التي تسمح للشركة بإصدار كمية معينة من الملوثات.

مراجع

أكرمان، فرانك، وإليزابيث أ. ستانتون. 2008. "تكلفة تغير المناخ". مجلس الدفاع عن الموارد الطبيعية. www.nrdc.org/globalwarming/cost/cost.pdf. . ———. 2011. "اقتصاديات المناخ: أحدث ما توصلت إليه التكنولوجيا." معهد ستوكهولم للبيئة – الولايات المتحدة مركز http://sei-us.org/Publications_PDF/SEI-ClimateEconomicsstate-of-art-2011.pdf. . ،أكرمان، فرانك نموذج جديد للمناخ والتنمية." الاقتصاد البيئي، 85: 166- :CRED" .إليزابيث أ. ستانتون، ورامون بوينو. 2013 بنك التنمية الأفريقي، بنك التنمية الآسيوي، إدارة التنمية الدولية (المملكة المتحدة)، المديرية العامة للتنمية 176. (المفوضية الأوروبية)، الوزارة الاتحادية للتعاون الاقتصادي والتنمية (ألمانيا، وزارة الخارجية)، التعاون الإنمائي (هولندا)، المنظمة للتعاون الاقتصادي والتنمية، برنامج الأمم المتحدة الإنمائي، برنامج الأمم المتحدة للبيئة، والبنك الدولي، 2003. الفقر وتغير المناخ: الحد من ضعف الفقراء من خلال التكيف. www.unpei.org/PDF/Poverty-and-Climate-Change.pdf.

الاتحاد الجيوفيزيائي الأمريكي. 2014. تغير المناخ الناتج عن النشاط البشري يتطلب اتخاذ إجراءات عاجلة. www.agu.org. ،بارنز، بيتر، روبرت كوستانزا، بول هوكين، ديفيد أور، إلينور أوستروم، ألفارو أومانا وأوران يونغ. 2008. "إنشاء صندوق للأرض والغلاف الجوي." العلوم 319:724. بودن، ت.أ.، ج مارلاند، و ر.ج. أندريس. 2016. "انبعاثات ثاني أكسيد الكربون من الوقود الأحفوري العالمية والإقليمية والوطنية." مركز تحليل معلومات ثاني أكسيد الكربون (CDIAC)، مختبر أوك ريدج الوطني. http://cdiac.ornl.gov/ftp/ndp030/global.1751_2013.ems. . بيرك، م.، س. هسيانج، وإي ميغيل. 2015. "التأثير العالمي غير الخطي لدرجة الحرارة على الإنتاج الاقتصادي." الطبيعة، 527: 235-

كارل وجيريمي وديفيد فيدور. 2016. "تتبع إيرادات الكربون العالمية: دراسة استقصائية لضرائب 239. الكربون مقابل الحد الأقصى والاتجار في العالم الحقيقي." سياسة الطاقة 96: 50-77. كلارك، دنكان. هل أحدث بروتوكول كيوتو أي فرق في انبعاثات الكربون؟" الغارديان، 26 نوفمبر" 2012. https://www.theguardian.com/environment/blog/2012/nov/26/kyoto-protocolcarbon-emissions. المشروع المرجعي للعدالة المناخية. 2015. الأسهم العادلة: مراجعة المجتمع المدني للمساهمات المحددة وطنيًا. http://civilsocietyreview.org/wp-content/uploads/2015/11/CSO_FullReport.pdf. Mكلاين، ويليام ر. 2007. الاحتباس الحراري والزراعة: تقديرات الأثر حسب البلد. واشنطن العاصمة: مركز التنمية العالمية ومعهد بيترسن للاقتصاد الدولي. http://www.cgdev.org/content/publications/detail/14090. ،كودور . آن ماري، سيث إتزكان، ويليام موماو، كارل ثيديمان، وجوناثان هاريس. 2017. "الأمل تحت أقدامنا: التربة كحل للمناخ." ملخص سياسة المناخ GDAE. http://www.ase.tufts.edu/gdae/Pubs/climate/ClimatePolicyBrief4.pdf. ،.كوك ج وآخرون. 2016. "الإجماع على الإجماع: توليفة من التقديرات المتفق عليها بشأن ظاهرة الاحتباس الحراري التي يسببها الإنسان." رسائل البحوث البيئية المجلد. 11 عدد 4 (13 إبريل). دوى:10.1088/1748-9326/11/4/048002. ديكونتو، آر، ود. بولارد. 2016. "مساهمة القارة القطبية الجنوبية في ارتفاع مستوى سطح البحر في الماضي والمستقبل." الطبيعة، 531: 591-597.

ديتز، سيمون، ونيكولاس ستيرن. 2014. "النمو الداخلي، وتقارب الأضرار والمخاطر المناخية: كيف يدعم إطار نوردهاوس التخفيضات العميقة في انبعاثات الكربون." معهد غرانثام لأبحاث تغير المناخ والبيئة، ورقة العمل رقم 159، يونيو/حزيران. فانكهاوزر، صموئيل. 1995. تقييم تغير المناخ: اقتصاديات الاحتباس الحراري. لندن: ايرثسكان. جودوين، فيل، جويس دارجاي، ومارك هانلي. 2004. "مرونة حركة المرور على الطرق واستهلاك الوقود فيما يتعلق بالسعر والدخل: مراجعة." مراجعات النقل 24(3): 275-292. جروب، مايكل، توماس إل. بروير، ميساتو ساتو، روبرت هيلماير، ودورا فازيكاس. 2009. "سياسة المناخ والقدرة التنافسية الصناعية: عشر رؤى من أوروبا حول نظام تداول الانبعاثات في الاتحاد الأوروبي". أسعار الوقود" 2013. GIZ. صندوق مارشال الألماني للولايات المتحدة، سلسلة أوراق المناخ والطاقة 09 الدولية 2012/2013"، الطبعة الثامنة، نيابة عن الوزارة الاتحادية للتعاون الاقتصادي والتنمية (ألمانيا). هانسن، وآخرون. 2008. "استهداف ثاني أكسيد الكربون في الغلاف الجوي: إلى أين يجب أن تستهدف الإنسانية؟" مجلة علوم الغلاف الجوي المفتوحة، 2: 217-231. هاريس، جوناثان م.، ومليحة بيرجاندي فيريز، 2011. الغابات والزراعة والمناخ: قضايا الاقتصاد والسياسات. معهد جامعة تافتس للتنمية العالمية والبيئة، http://www.ase.tufts.edu/gdae/education_materials/modules. .html#REDD شفاء، جيفري وأنتوني ميلنر. 2014. "عدم اليقين وصنع القرار في اقتصاديات تغير المناخ." مراجعة الاقتصاد والسياسة البيئية 8.1: 120-137. هونيش، باربل، وآخرون. 2012. "السجل الجيولوجي لتحمض المحيطات". العلوم، 335 (6072): 1058-1063. هيوز، جوناثان إي.، كريستوفر ر. كنيتل، ودانييل سبيرلينج. 2008. "دليل على حدوث تحول في مرونة أسعار الطلب على البنزين على المدى القصير." مجلة أ. تغير المناخ 2007 (IPCC). الطاقة 29 (1)، 113-134. الهيئة الحكومية الدولية المعنية بتغير المناخ ———. أساس العلوم الفيزيائية. كامبريدج، المملكة المتحدة؛ نيويورك: مطبعة جامعة كامبريدج: 2007. ب. تغير المناخ 2007: التأثيرات والتكيف وقابلية التأثر. كامبريدج، المملكة المتحدة؛ نيويورك 2007: ———. 2007ج. تغير المناخ 2007: التخفيف من آثار تغير المناخ. كامبريدج، مطبعة جامعة كامبريدج. المملكة المتحدة؛ نيويورك: مطبعة جامعة كامبريدج.

أ. تغير المناخ 2013، أساس العلوم الفيزيائية 2014. (IPCC) الهيئة الحكومية الدولية المعنية بتغير المناخ ب. التقرير التجميعي لتغير المناخ لعام 2014 2014 http://ipcc.ch/. ——— — http://ipcc.ch/ ج. تغير المناخ 2014: التأثيرات والتكيف وقابلية التأثر. ———. 2014د. تغير المناخ2014. ——— التخفيف من آثار تغير المناخ: 2014. Jevrejeva, S., J.C. Moore, and A. Grinsted, 2012. توقعات مستوى سطح البحر حتى عام 2500 بعد الميلاد مع جيل جديد من سيناريوهات تغير المناخ." مجلة التغير العالمي والكواكب، 80/81: 14-20. كان، ماثيو إي. 2016. "أدب التكيف مع تغير المناخ." مراجعة الاقتصاد والسياسة البيئية 10.1: 166-178. كاهساي، جويتوم أبرهة، ولارس جارن هانسن. 2016. "تأثير تغير المناخ وسياسة التكيف على الإنتاج الزراعي في شرق أفريقيا." الاقتصاد البيئي 121: 54-64. كيسيكي، فابيان، وبول إكينز. 2011. "منحنيات تكلفة التخفيض الهامشية: دعوة للحذر". سياسة المناخ كومانوف، تشارلز. 2014. "هل يتبخر الصدع بين نوردهاوس وستيرن مع ارتفاع 12(2): 219-236.

درجات الحرارة؟" مركز ضريبة الكربون، 21 أغسطس.
http://www.carbontax.org/blog/2014/08/21/is-the-rift-between-nordhaus-andstern-evapoating-with-rising-temperatures/. لال، الروطان. 2010. "إدارة التربة والنظم البيئية للتخفيف من انبعاثات الكربون البشرية المنشأ وتعزيز الأمن الغذائي العالمي." العلوم البيولوجية "مجلات أكسفورد. ماكينزي وشركاه. 2007. "منحنى التكلفة لخفض غازات الدفيئة .21-708 :60.9 ماكينزي الربع سنوية 1: 35-45،
http://www.epa.gov/air/caaac/coaltech/2007_05_mckinsey.pdf. ———. 2009. مسارات نحو اقتصاد منخفض الكربون. http://www.mckinsey.com/business-functions/sustainability-and-resourceproductivity/our-insights/pathways-to-a-low-carbon-economy. ——. 2013. مسارات نحو اقتصاد منخفض الكربون، الإصدار 2.
http://www.mckinsey.com/business-functions/sustainability-and-resourceproductivity/our-insights/pathways-to-a-low-carbon-economy. ميتكالف، جيلبرت إي. 2007. "اقتراح لمبادلة ضريبة الكربون الأمريكية." واشنطن العاصمة: معهد بروكينجز. ورقة مناقشة 2007-12. ———. 2015. "إطار مفاهيمي لقياس فعالية الإصلاحات الضريبية الخضراء." المؤتمر السنوي الثالث لمنصة المعرفة للنمو الأخضر حول "السياسات المالية والتحول إلى الاقتصاد الأخضر: توليد المعرفة - خلق الأثر". البندقية، إيطاليا، 29-30 يناير.
"ميلار، ريتشارد، مايلز ألين، جويري روجيلج، وبيير فريدلينجستين. 2016. "ميزانية الكربون التراكمية وآثارها مراجعة أكسفورد للسياسة الاقتصادية 32(2): 323-342. موراي وبريان ونيكولاس ريفرز. 2015 ضريبة الكربون المحايدة للإيرادات في كولومبيا البريطانية: مراجعة لأحدث "التجربة الكبرى" في السياسة" البيئية. سياسة الطاقة 86: 674-683. الإدارة الوطنية للمحيطات والغلاف الجوي (NOAA). 2010. "تحمض المحيطات، اليوم وفي المستقبل."
www.climatewatch.noaa.gov/image/2010/oceanacidification-today-and-in-the-future/. ———. 2012. "مؤشرات تغير المناخ العالمي".
www.ncdc.noaa.gov/indicators/index.html. ———. 2012. حالة المناخ، التحليل العالمي.
www.ncdc.noaa.gov/sotc/global/. السنوي 2012. المركز الوطني للبيانات المناخية "نوردهاوس، ويليام. 2007. "مراجعة ستيرن لاقتصاديات تغير المناخ".
http://nordhaus.econ.yale.edu/stern_050307.pdf. ———. 2008. مسألة التوازن: وزن الخيارات المتعلقة بسياسات الاحترار العالمي. نيو هافن: مطبعة جامعة ييل. ———. 2013. كازينو المناخ. ملاذ جديد؛ لندن: مطبعة جامعة ييل. نوردهاوس، ويليام د.، وجوزيف بوير. 2000. ارتفاع درجة حرارة العالم: النماذج الاقتصادية للاحتباس الحراري. كامبريدج، ماساتشوستس: مطبعة معهد ماساتشوستس للتكنولوجيا. أوليفييه، جوس جي جي، جريت جانسينز ماينهاوت، ماريلينا مونتيان، وجيروين أ.ه.و. بيترز مركز البحوث المشتركة التابع للمفوضية الأوروبية، 2014. "الاتجاهات في انبعاثات ثاني أكسيد الكربون العالمية: تقرير 2014"، http://edgar.jrc.ec.europa.eu/news_docs/jrc-2014trends-in-global-co2- emissions-2014-report-93171.pdf.

باري، مارتن، نايجل أرنيل، بام بيري، ديفيد دودمان، صامويل فانكهاوزر، كريس هوب، ساري كوفاتس، روبرت نيكولز، ديفيد ساترثويت، ريتشارد تيفين، وتيم ويلر. 2009. "تقييم تكاليف التكيف مع تغير المناخ: مراجعة لاتفاقية الأمم المتحدة الإطارية بشأن تغير المناخ والتقديرات الحديثة الأخرى." تقرير معهد جرانثام لتغير المناخ والمعهد الدولي للبيئة والتنمية. لندن. ريفيسز آر، ك. أرو وآخرون. 2014. "الاحتباس الحراري: تحسين النماذج الاقتصادية لتغير المناخ". الطبيعة، 4 أبريل. http://www.nature.com/news/global-warmingimprove-Economy-models-of-climate-change-1.14991. روزين، ريتشارد أ. وإديلترود غو. 2014. "اقتصاديات التخفيف من آثار تغير المناخ: ماذا يمكننا أن نعرف؟" التحدي 57.4: 57-81. سانشيز ولويس إف وديفيد آي ستيرن. دوافع انبعاثات غازات الدفيئة الصناعية وغير الصناعية." الاقتصاد البيئي 124: 17-24. شيلنهوبر، هانز" 2016. "يواكيم، ستيفان رامستورف، وريكاردا فينكلمان. 2016. "لماذا تم الاتفاق على الهدف المناخي الصحيح في باريس تغير المناخ الطبيعي 6: 649-653. ستانتون، إليزابيث أ. 2012. "التنمية بدون الكربون: المناخ والاقتصاد العالمي خلال القرن الحادي والعشرين." معهد ستوكهولم للبيئة – الولايات المتحدة مركز http://sei-us.org/Publications_PDF/SEI-Development-Without-CarbonPh1.pdf. . ستيرن، نيكولاس. اقتصاديات تغير المناخ: مراجعة ستيرن. كامبريدج: مطبعة جامعة كامبريدج. 2007. www.hmtreasury.gov.uk/independent_reviews/stern_ review_

الصفقة العالمية: تغير المناخ وخلق حقبة جديدة. Economys_climate_change/sternreview_index.cfm
تقرير فجوة .2016. (UNEP) من التقدم والازدهار. فيلادلفيا: مجموعة كتب بيرسيوس. برنامج الأمم المتحدة للبيئة
.التكيف. نيروبي، كينيا: برنامج الأمم المتحدة للبيئة
اتفاقية الأمم المتحدة الإطارية بشأن تغير .http://drustage.unep.org/adaptationgapreport/2016
المناخ. 2007. "التدفقات الاستثمارية والمالية لمعالجة تغير المناخ". أمانة تغير المناخ، بون. إدارة معلومات الطاقة
الأمريكية (EIA). 2016. توقعات الطاقة الدولية.
برنامج أبحاث التغير العالمي في الولايات .http://www.eia.gov/forecasts/ieo/emissions.cfm334
المتحدة. 2009. التقييم الوطني الثاني للمناخ.
http://globalchange.gov/publications/reports/scientificassessments/us-impacts. ———.
2014. التقييم الوطني الثالث للمناخ، (مايو) نظرة عامة ونتائج التقرير.

فالي، بيترسون مولينا. 2016. "المناخ المتغير لاقتصاديات المناخ". الاقتصاد البيئي 121: 12-19. فايتسمان، مارتن.
حول نمذجة وتفسير اقتصاديات تغير المناخ الكارثي". مراجعة الاقتصاد والإحصاء، 91(1): 1-19. بنك" .2009
عالمي. 2010. تقرير عن التنمية في العالم 2010: التنمية وتغير المناخ. واشنطن العاصمة. ———. 2010. "التكاليف
التي تتحملها البلدان النامية للتكيف مع تغير المناخ: أساليب وتقديرات جديدة". مسودة التشاور. منظمة الصحة العالمية.
وانغ. 2016. "تخصيص .M وP. ،حماية الصحة من تغير المناخ: ربط العلوم والسياسات والناس." تشو" .2009
انبعاثات ثاني أكسيد الكربون: مراجعة". الاقتصاد البيئي 125: 47-59.

أسئلة للمناقشة

أسئلة للمناقشة

1. ما هو الدليل الرئيسي على تغير المناخ العالمي؟ ما مدى خطورة المشكلة، وما هي أسبابها الرئيسية؟ ما هي القضايا التي يثيرها فيما يتعلق بالمساواة العالمية والمسؤولية عن التعامل مع المشكلة؟
2. هل تعتقد أن استخدام تحليل التكلفة والعائد لمعالجة مشكلة تغير المناخ مفيد؟ كيف يمكننا أن نقدر بشكل مناسب أشياء مثل ذوبان القمم الجليدية في القطب الشمالي وغمر الدول الجزرية؟ ما هو الدور المناسب للتحليل الاقتصادي في التعامل مع المسائل التي تؤثر على النظم البيئية العالمية والأجيال القادمة؟
3. ما هي الأهداف المناسبة للاستجابة لتغير المناخ؟ وبما أنه من المستحيل وقف تغير المناخ تماما، فكيف ينبغي لنا أن نوازن جهودنا بين التكيف والوقاية/التخفيف؟
4. ما هي سياسة تغير المناخ الاقتصادي التي تفضلها: ضريبة الكربون أم نظام مقايضة الانبعاثات؟ لماذا؟ ما هي العوائق الرئيسية التي تحول دون التنفيذ الفعال للسياسات؟
5. يمكن أن تركز سياسات تغير المناخ على تغيير السلوكيات أو تغيير التكنولوجيا. ما هو النهج الذي تعتقد أنه يمكن أن يكون أكثر فعالية؟ ما هي السياسات التي يمكن استخدامها لتشجيع التغييرات في كل منها؟

1. تمارين

لنفترض أنه بموجب شروط اتفاقية دولية، من المقرر خفض انبعاثات ثاني أكسيد الكربون في الولايات المتحدة بمقدار 200 مليون طن وانبعاثات البرازيل بمقدار 50 مليون طن. فيما يلي خيارات السياسة المتاحة للولايات المتحدة والبرازيل لخفض انبعاثاتهما:

United States:

Policy Options	Total emissions reduction (million tons carbon)	Cost ($ billion)

A:	**Efficient machinery**	60	12
B:	**Reforestation**	40	20
C:	**Replace coal-fueled power plants**	120	30

Brazil:

Policy	Options	Total Cost ($ billion)	emissions reduction (million tons carbon)
A:	**Efficient machinery**	50	20
B:	**Protection of Amazon forest**	30	3
C:	**Replace coal-fueled power plants**	40	8

a. أ. ما هي السياسات الأكثر كفاءة لكل بلد في تحقيق أهداف التخفيض الخاصة به؟ ما هو المبلغ الذي سيتم تخفيضه باستخدام كل خيار، وبأي تكلفة، إذا كان على البلدين العمل بشكل مستقل؟ لنفترض أن أيًا من خيارات السياسة يمكن تنفيذه جزئيًا بتكلفة هامشية ثابتة. على سبيل المثال، تستطيع الولايات المتحدة أن تختار خفض انبعاثات الكربون بالاستعانة بآلات تتسم بالكفاءة بمقدار عشرة ملايين طن وبتكلفة تبلغ ملياري دولار. (تلميح: ابدأ بحساب متوسط تكلفة خفض الكربون بالدولار لكل طن لكل سياسة من السياسات الست).

b. ب. لنفترض أن سوق التصاريح القابلة للتحويل تسمح للولايات المتحدة والبرازيل بتبادل تصاريح انبعاث ثاني أكسيد الكربون. من لديه مصلحة في شراء التصاريح؟ من له مصلحة في بيع التصاريح؟ ما هو الاتفاق الذي يمكن التوصل إليه بين الولايات المتحدة والبرازيل حتى يتمكنوا من تحقيق الهدف الإجمالي لخفض الانبعاثات بمقدار 250 مليون طن بأقل تكلفة؟ هل يمكنك تقدير نطاق سعر تصريح انبعاث طن واحد من الكربون؟ (تلميح: استخدم حسابات متوسط التكلفة من الجزء الأول من السؤال.)

c. لنفترض أن الاستهلاك السنوي لأسرة أمريكية متوسطة يبلغ 1000 جالون من البنزين و200 مكف (ألف قدم مكعب) من الغاز الطبيعي. باستخدام الأرقام الواردة في الجدول 4 حول تأثيرات ضريبة الكربون، احسب المبلغ الذي ستدفعه أسرة أمريكية متوسطة سنويًا مع ضريبة مضافة قدرها 50 دولارًا لكل طن من ثاني أكسيد الكربون إذا لم يكن هناك تغيير أولي في الطلب. ثم بافتراض أن مرونة الطلب على المدى القصير تبلغ -0.1، والمرونة طويلة الأجل البالغة -0.5، قم بحساب التخفيضات في طلب الأسر على النفط والغاز على المدى القصير والطويل. إذا كان عدد الأسر في الولايات المتحدة 100 مليون أسرة، فما هو العائد الذي ستجنيه وزارة الخزانة الأمريكية من ضريبة الكربون هذه، على المدى القصير والطويل؟ وكيف

يمكن للحكومة استخدام هذه الإيرادات؟ ما هو تأثير ذلك على الأسرة المتوسطة؟ ناقش الفرق بين التأثيرات قصيرة المدى وطويلة المدى.

روابط انترنت

1. http://www.ipcc.ch/ الموقع الإلكتروني للهيئة الحكومية الدولية المعنية بتغير المناخ، وهي وكالة ترعاها الأمم المتحدة "لتقييم المعلومات العلمية والتقنية والاجتماعية والاقتصادية ذات الصلة بفهم مخاطر تغير المناخ التي يتعرض لها الإنسان". تغير المناخ الناجم."
2. http://epa.gov/climatechange/index.html موقع الويب الخاص بالاحتباس الحراري
3. http://www.wri.org/our-work/topics/climate/ التابع لوكالة حماية البيئة الأمريكية.
4. الموقع الإلكتروني لمعهد الموارد العالمية حول المناخ والغلاف الجوي. ويتضمن الموقع العديد من المقالات ودراسات الحالة، بما في ذلك الأبحاث حول آليات التنمية النظيفة.
5. http://unfccc.int/2860.php/ الصفحة الرئيسية لاتفاقية الأمم المتحدة الإطارية بشأن تغير المناخ. ويقدم الموقع بيانات حول قضية تغير المناخ ومعلومات حول العملية الجارية للتفاوض على الاتفاقيات الدولية المتعلقة بتغير المناخ.
و http://rff.org/focus_areas/Pages/Energy_and_Climate.aspx
منشورات منظمة الموارد من أجل www.rff.org/research/topics/climate-change/
6. www.hm-treasury.gov.uk/sternreview_index.htm/ المستقبل حول قضايا الطاقة وتغير المناخ. موقع ويب لمراجعة ستيرن، يقدم تحليلاً شاملاً لاقتصاديات تغير المناخ بما في ذلك التأثيرات، وتحقيق الاستقرار، والتخفيف، والتكيف.