التَأثيرات الاقتصادية المُحَتَملة للتَغيرات المُناخية على المُحيطات

د/ عاصم عبد المنعم أحمد
أستاذ مساعد
المعمل المركزي للمناخ الزراعي
مركز البحوث الزراعية

مقدمة

تُعتبر المحيطات في غايةِ الأهمية للاقتصاد العالمي حيثُ تُساهم الصناعات والأنشطةِ القائمةِ عليها بمئات الملايين من الوظائف وبنحو 2.5 تريليون دولار أمريكي في الاقتصاد العالمي كل عام طبقاً للهيئة الدولية المَعنية بالتَغيرات المناخية، مما يَجعلها ثامن أكبر اقتصاد في العالم عند مقارنتها بإجمالي الناتج المحلى لدول العالم المختلفة (GDPs).

يَتكون اقتصاد المُحيطات من جميع الأنشطةِ البشريةِ القائمة على المحيطات والتي تُولد الإيرادات وغيرها من المنافع النقدية وغير النقدية.

تَعتمد بعض المنافع من المحيطات والموارد المتُخدمة في توليد هذه المنافع على السوق حَيثُ يتم تَداولها في الأسواق العالمية ولديها أسعار للتَداول في هذه الأسواق، ومن أمثلة هذه المنافع مَصايد الأسماك البرية وتَربية الأحياء المائية البحرية والأدوية والوقود الأحفورى مثل (النفط والغاز) وموارد الطاقة المُتَجدة مثل طاقة المد والجزر أو الرياح أو الطاقة الحرارية، بالإضافةِ إلى استخدام سطح المحيط للنقل (الشحن) والسياحة القائمة على المحيطات وأسواق الكربون الأزرق كما أن هناك العَديد من المنافع الناشئة من المحيطات لا يتم تَداولها فى الأسواق وليس لها سعر سوقي وبالتالي فإن تَقييم قيمها في غاية الصعوبة.

وتَتَمثل خدمات النظم البيئية (الخدمات الإيكولوجية) والتي لا سعر لها في مُعظم الخدمات الثقافية للمحيطات (مثل السباحة والصيد الترفيهي ومراقبة الحياة البحرية وقيمة وجود الكائنات الحية المُتَنوعة فى المحيطات)، بالإضافة إلى بعض الخدمات التَنظيمية الأخرى مثل مُساهمة المحيطات في أنظمة المياه والطاقة ودور المحيطات في تَنظيم المناخ وامتصاص ثاني أكسيد الكربون (CO_2) وحماية السواحل.

وكانت هناك عدة محاولات من قِبل الباحثين لتَقدير قيمة خدمات النظام الإيكولوجي العالمي للمحيطات ومنهم (روبرت كوستانتزا وآخرين) وقُدرت خَدمات النظام الايكولوجي للمحيطات بنحو 50 تريليون دولار أمريكي في العام 2011.

اقتصاد المحيطات القائم على السوق

تُوضح بيانات مُنظمة التَعاون الإقتصادى والتَنمية بالجدول رقم (1) النسبة المئوية للصَناعات القائمة على المُحيطات التي تُساهم بأكبر قدر من حيث قيمة الإنتاج والعمالة. ويَتَضح من بيانات هذا الجدول هيمنة كل من إنتاج الطاقة والسياحة على قيم الإنتاج حيثُ تُمثل نحو 60% حين يَعمل ما يَقرب من نصف العمالة في المحيطات من مصايد الأسماك وتَربية الأحياء المائية البحرية وعمليات تَجهيز الأسماك (المنتجات الغذائية).

جدول رقم (1) يُوضح النسب المئويةللصناعات القائمة على المحيطات والتي تُساهم في اقتصاد المحيطات في عام 2010

م	البنود	% من قيمة الإنتاج	% من العمالة
1	النفط والغاز البحري (إنتاج الطاقة)	34	6
2	السياحة الساحلية والبحرية	26	22
3	أنشطة الموانئ	13	5
4	المعدات البحرية	11	7
5	مصايد الأسماك وتربية الأحياء المائية البحرية وعمليات تجهيز الأسماك	6	49
6	النقل البحري	5	4
7	عمليات بناء وإصلاح السفن	4	6
8	طاقة الرياح البحرية	1	1
	الإجمالي	100	100

المصدر: منظمة التعاون الاقتصادي والتنمية، 2016.

آثار ارتفاع نسبة غازات الاحتباس الحراري على المحيطات

أدَت التغَيرات المُناخية إلى تَغيرات في مناخ المحيطات والكيمياء وحركة دوران المحيطات ومستوى سطح البحر وتَوزيع الجليد. وبشكلٍ عام فإن هذه التغييرات المناخية لها تَأثيرات حاسمة على الموائل والأنواع المُختلفة.

أولاً: التَغييرات الحادثة في درجات حرارة المحيطات

زَادت قوة امتصاص المحيطات للحرارة بنحو 93% عما كَانت عليه في عام 1980 مما أدى إلى ارتفاع درجة حرارة الجزء العلوي من المحيط (أعلى من 700م) بالإضافة إلى ارتفاع درجة حرارة المياه العميقة (700-2000م). كما زَادت درجات حرارة سطح البحر بمتوسط 0.7 درجة مئوية على مستوى العالم منذ 1900، وبحلول عام 2100 فمن المُرجح أن يَزداد احترار المحيطات ككل من مرتين إلى أربع مرات في السيناريو (RCP 2.6) وإلى خمس إلى سبع مرات فى السيناريو (RCP 8.5) عما كان عليه الاحترار فى عام 1970.

ومع تَصاعد موجات الاحترار هذه فمن المُتَوقع أن تَتَحول نطاقات التَوزيع المُناسبة للعديد من الأنواع البحرية إلى القطب وبشكٍ عام فإن الأنواع التي يُمكنها الانتقال إلى مياه أكثر برودة ولديها موائل مناسبة للانتقال إليها ستقوم بذلك، أما الكائنات والموائل التيلا يُمكن أن تَنتقل سَتقوم بالتكيف مع الظروف الجديدة الناجمة عن تغير المناخ أو تَنقرض ما لم يَتم تَنفيذ مبادرات لمنع انقراضها.

ثانياً: ارتفاع مستوى سطح البحر والتوزيع المُتغير للجليد

شَهِدت المناطق القطبية تَغيرات جذرية بما في ذلك التغيرات فى توقيت مواسم ذوبان الجليد السنوية والتغيرات في الغطاء الجليدي وكتلة الأنهار الجليدية وهو ما أدَى إلى ارتفاع مستوى سطح البحر.

فعلى الصعيد العالمي ارتفع متوسط مستوى سطح البحر بمقدار 0.16 متراً خلال الفترة من 1902 حتى 2015 وتُشير التَقديرات إلى أنه بحلول عام 2100، سَيرتفع متوسط مستوى سطح البحر العالمي ما مقداره 0.29 متراً حتى 0.59 متراً تحت سيناريو (RCP 2.6) وما مقداره 0.61 متراً حتى 1.1 متراً تحت سيناريو (RCP 8.5).

ويَختلف مُعدل الزيادة فى مستوى سطح البحر باختلاف المناطق- ففي غرب المحيط الهادئ يَرتفع مستوى سطح البحر بمعدل ثلاثة أمثال المتوسط العالمي، بينما ليس هناك معدل زيادة فى شرق المحيط الهادئ أو يكون سالباً.

وبالتالي فإن العَواقبتطلادية لارتفاع مستوى سطح البحر العالمي سَتكون أيضاً مُختلفة باختلاف المناطق وكذلك خلال القطاعات المُتنوعة للاقتصاد مع انخفاض الإنتاجية الساحلية وتَزايد كبير في الفيضانات.

انخفض الامتداد السنوي للجليد البحري في القطب الشمالي بمعدل 3.5-4.1% كل عِقد ووصل الانخفاض إلى نحو 13% في شهر سبتمبر وهو الشهر الخاتم لموسم ذوبان الجليد.

ويُصاحب هذا الانخفاض السريع في الامتداد السنوي للجليد فقدان تدريجي للجليد البحري مُتَعدد السنوات مع فقدان أكثر من 50% من مساحته خلال الفترة (1999-2017).

وفى الوقت ذاته ازدادت الكتلة المفقودة من الغطاء الجليدي في القارة القطبية الجنوبية ثلاث مرات بين عامي 2007 و 2016مُقارنةً بالعِقد السابق مما أدى إلى وصول نطاقات الجليد البحري في القطب الجنوبي إلى أدنى متوسط شهري وسنوي على الإطلاق في عام 2017. كما وتَضاعف أيضاً فقدان كتلة الغطاء الجليدفي جرينلاند خلال نفس الفترة ومن المُتَوقع أن تَزداد مُعدلات فقدان الكتلة لكل من الجليد البحري في جرينلاند والقطب الجنوبي طوال القرن الحادي والعشرين وما بعده.

ثالثاً: تغيير كيمياء المحيطات

ارتفعت حموضة المحيطات بنسبة 26% منذ بدء الثورة الصناعية مع التباين فى شدة ومعدل التغيير ما بين الأقاليم المختلفة.

وهذه الزيادة ناتجة في المقام الأول عن امتصاص المحيطات لثاني أكسيد الكربون مما يُقلل من درجة الحموضة في المحيط عن طريق (زيادة تركيزات أيونات الهيدروجين والبيكربونات وزيادة أيونات الكربونات وزيادة الضغط الجزئي لثاني أكسيد الكربون والكربون غير العضوي المذاب).

ويُمكن أن تُؤثر هذه التغييرات على العديد من الكائنات البحرية خَاصةً في مراحل الحياة المبكرة لها، ولكنها تَضر بشكلٍ خاص بالشعاب المرجانية والكائنات الحية البحرية (الأصداف البحرية).

من المُتَوقع بحلول عام 2100أن يَنخفض الرقم الهيدروجيني (PH) للمحيطات بمقدار 0.036-0.042 تحت ظروف سيناريو (RCP 2.6) وينخفض بنحو 0.287-0.29 في حالة سيناريو (RCP 8.5).

وفى حالة إذا تم خفض درجات الحرارة إلى 1.5 درجة مئوية فقط فإنه من المرجح أن تُعانى الشعاب المرجانية في المياه لافائدة من آثار سلبية كبيرة بما في ذلك التَغييرات فى تكوين المجتمع وتَنوعه والانقراض لبعض الأصناف المحلية.

كما يُمكن زيادة حموضة مياه البحر الساحلية عن طريق الكربون الإضافي من المدخلات النهرية أو من خلال تَربية الأحياء المائية وتَصريف مياه الصرف الصحي وغيرها من المصادر الثابتة.

وجه الصلة بين التَغيرات المُناخية واقتصاديات المحيطات

تم تَناول تَربية الأحياء البحرية والسياحة البحرية كمصدرين من مصادر اقتصاديات المحيطات وتأثير التغيرات المناخية عليهما مع التَطرق إلى برامج التكييف اللازمة لمُجابهة الآثار السلبية للتغيرات المناخية.

أولاً: تَربية الأحياء المائية

تُصنف تَربية الأحياء المائية البحرية كونها من ركائز اقتصاديات المحيطات، حيثُ تُعتَبر واحدة من أسرع الصناعات نمواً في العالم وتَقوم بإنتاج المأكولات البحرية أكثر من المصايد الطبيعية، وتُمثل تَربية الأحياء المائية (Mariculture) حالياً ثلث إجمالي إنتاج تَربية الأحياء المائية وما زالت هذه النسبة في تَزايد. ففي عام 2016 بَلغَ إنتاج الاستزراع السمكي نحو 38.6 مليون طن بقيمة 67.4 مليار دولار.

أثر التغيرات المناخية على تربية الأحياء المائية

يُعتبر الاستزراع البحري عُرضة لتَغير المناخ من خلال التَأثيرات على الكائنات الحية المُستزرعة وكذلك على التَكلفة والبنية التحتية لإجراء عمليات الاستزراع البحري. كما وتَتَأثر الأنواع البَحرية المُستَزرعة بالظروف البيئية المُتغيرة مثل الأنواع البحرية البرية، لكن على عكس الأنواع البرية يُمكن للبشر إحداث تَكيف سريع في الأنواع المُستزرعة من خلال التربية الانتقائية.

وعلى عكس مُعظم مصايد الأسماك الطبيعية تَتَطلب عمليات تَربية الأحياء البحرية قَدراً كبيراً من البنية التَحتية على الشاطئ وداخل المُحيطات لتربية الأنواع البحرية خلال مراحل الحياة

المـُتـَعددة، وهذه البنيةالتحتية على الشاطئ والمـُحيطاتـعـُرضةًللعـَواصف التي من المـُتوَقع أن تزَداد وتـَيرتها وحدتها فيظل تـَغير المناخ ولهذا يـَجب أن يتم نقل البنية التحَتية القائمة على المحيطات مثل الخطوط والأقفاص والزريعةاستجابةً للظروف البيئية غير الملائمةمثل تكاثر الطحالب الضارة أو نقص الأكسجين أو تـَغير الملوحة أو درجة الحرارة وهو ما يعَمل على زيادة التكاليف ومن ثم يـُؤثر سلباً على المزارعين غير القادرين على إعادة التـَوطين.

تكييف تربية الأحياء المائية البحرية مع تغير المناخ

تتَمثل برامج التَكيف لأحياء المائية مع التغيرات المناخية في الاتى:

1- تـَربية انتقائية من أجل نمو سريع: حيثُ ركزت غالبية برامج التربية على زيادة معدلات النمو وتـَعظيم الإنتاجية ومقاومة الأمراض. فعلى سبيل المثال زَادت برامج تربية السلمون الأطلسي من كمية الإنتاج بنسبة 12% لكلجيل مع مكاسب وراثية تـَراكمية تـَصل إلى 200% تقريباً على مدى أجيال مـُتـَعددة.

2- تـَربية انتقائية لتحمل درجة الحرارة: حيث نـَجـَحت بعض برامج التربية الانتقائية فى زيادة تـَحمل درجات الحرارة ولكنها غالباً ما تكون ذات تكلفةٍ باهظة.

3- التخطيط القـَائم على المخاطر وأنظمة المراقبة البيئية.

4- سهولة الحصول على القروض بفائدةٍ منخفضة ووجود عقود تأمينية ضد المخاطر.

ثانياً: السياحة البحرية والساحلية

تـُعتـَبر السياحة الساحلية والبحرية من أهم ركائز اقتصاديات المحيطات فهي ثاني أكبر قطاع اقتصادي مـُتـَعلق بالمحيطات فى عام 2010 بعد النفط والغاز البحري كما في الجدول رقم (1)، ومن المـُتـَوقع أن تكون السياحة الساحلية والبحرية المـُساهم الأكبر في الصناعات البحرية بحلول عام 2030 حيث قيمة الإنتاج، حيثُ سـَتـُشكل نحو 26% من الاقتصاد المـُعـَتمِد على المحيطات مقارنةً بنسبة 21% للنفط والغاز.

وتَشمل مجموعة أنشطة السياحة البحرية والساحلية السياحة الشاطئية وصيد الأسماك الترفيهي والسباحة والغطس السطحي والغوص ومشاهدة الحيتان والرحلات البحرية وغيرها، وقُدرت القيمة المُضافة العالمية المُباشرة للسياحة البحرية بنحو **390** مليار دولار فى عام **2010** وهو ما وفرَ بُشكلٍ مُباشرٍ سبعة ملايين وظيفة بدوامٍ كامل.

أثر التغيرات المناخية على السياحة البحرية

تُعتَبر الظروف الجوية والبيئية من العوامل الرئيسية التي تَجذب الناس إلى السياحة البحرية، ويؤثر التغير المناخي على كليهما.

ويَتَطلب فهم الآثار المُحتملة لتغير المنخ على السياحة البحرية فهم كيفية تَأثير تغير المناخ على الموارد الفيزيقية والبيئية التي تَعتمد عليها السياحة.

أثرت الموجات الحارة سَلبياً على الكائنات الحية البحرية والنظم الإيكولوجية (مثل مصايد الأسماك والشعاب المرجانية) في العقدين الماضيين ومن المُتَوقعنأ تَزداد فى تَواترها وكثافتها ومدتها ومدى انتشارها. كما سيؤدى الاحتباس الحراري إلى زيادة تَواتر وشدة ومدى اِبْيضاض الشعاب المرجانية بالمحيطات.

من المُتَوقع أيضاً أن تَزداد حدة العواصف وشدتها وأن تَصبح أكثر تِكراراً وهو ما يتسبب في انخفاض الرغبة في التوجُّهلأماكن السياحية وتَعَطيل النقل (الرحلات الجوية والعبّارات) وربما تَدمير البنية التحتية الساحلية التي تَدَعم السياحة.

برامج التكيف للسياحة البحرية

تَكييف تَربية الأحياء المائية البحرية مع تغير المناخ

1- تَعزيز مقاومة الشعاب المرجانية لتَغير المناخ.

تَبطَالحد من الآثار السلبية لتغير المناخ واضطرابات المُحيطات المُرتبطة بالاقتصاديات الساحلية تَحسين مرونة النظم الإيكولوجية البحرية والساحلية لتغير المناخ، حيثُ يُمكن أن يُساعد إنشاء المناطق البحرية المحمية في تَحسين المرونة البيئية للشعاب المرجانية.

كما أن هاية غابات المانغروف والأعشاب البحرية والتي تَنمو بها العديد من الأسماك والشعاب المرجانية يَعمل على حماية الشعاب المرجانية وتَعزيز إنتاجيتها.

2- حماية الموائل الطبيعية وتجديدها: فالحفاظ على الموائل الساحلية الطبيعية مثل الشعاب المرجانية والشواطئ وأشجار المانغروف يُزيد من قدرة المناطق الساحلية على التكيف مع تغير المناخ بالإضافة إلى توفير حماية إضافية من هبوب العواصف والفيضانات المُتكررة.

3-تنويع الأنشطة السياحية التنموية

يُساعد تنويع الأنشطة والاستثمارات السياحية لتشمل النظم البيئية المُرتبطة بالحفاظ على وظائف النُظم الإيكولوجية المُتنوعة وفى الوقت ذاته يَجب إعطاء الأولوية للسياحة البيئية أو الأنشطة السياحية التي تدعم الحفاظ على الطبيعة والتعليم.

4-التخلص من النفايات بشكلٍ صحيح وأن يتم إدراج تدوير النفايات في الخُطَط المُدرجة للسياحة الساحلية.

5-تقليل البصمة البيئية للسياحة من خلال السياحة البيئية واستثمارات الطاقة النظيفة.

آثار التخفيف من تغير المناخ على المحيطات

تشمل الجهود العالمية للتخفيف من تغير المناخ مجموعة متنوعة من الأساليب التي قد يكون لها فى حد ذاتها تأثيرات على النظم البيئية للمحيطات وتجمعات الأنواع واقتصاد المحيطات، وهناك طرق عديدة للتخفيف من الآثار السلبية للتغيرات المناخية ومنها:

1- الحفاظ على الكربون الأزرق والتوسع فيه

يُشير مُصطلح "الكربون الأزرق" إلى قدرة النظم البيئية البحرية على تخزين الكربون العضوي على مدى آلاف السنين.

ويُعتبر المحيط هو أكبر مخزن للكربون على وجه الأرض حيثُ امتص بالفعل أكثر من 90% من الحرارة الإضافية للأرض والتقط ما يقرب من ثُلث جميع انبعاثات ثاني أكسيد الكربون في الغلاف الجوى منذ القرن الثامن عشر.

تشغل النظم الإيكولوجية الساحلية النباتية ما يُعادل 0.2% من المساحة الكلية للمحيطات وتمثل هذه النظم في (الأعشاب البحرية وغابات المانغروف ومستنقعات المد والجزر) وتتمتع هذه النظم الإيكولوجية بقدرةٍ هائلة على عزل الكربون.

ومن خلال عملية تعرف باسم المضخة البيولوجية "Biological pump" تقوم الكائنات الباطحبتحويل ثاني أكسيد الكربون إلى كتلةٍ حيويةٍ يُشار إليها باسم "تثبيت الكربون" من خلال

عملية التمثيل الضوئي. ويتم دفن جزء من هذا الكربون في قاع البحر وبالتالي إزالته من دورة الكربون في الغلاف الجوى على نطاقٍ زمني طويل بما يكفى لتَشكيل حوض كربون ويُشَار إلى هذا الكربون على أنه تم عزله "Sequestered" .

يَحدث عزل الكربون البحري في كل من المُحيطات المَفتوحة وعلى طول ساحل المحيطات، وهناك فرص لزيادة قدرة عزل الكربون والمُساهمة في التخفيف من تغير المناخ على كليهما.

2- التوسع في مصادر الطاقة المُتجددة في المحيطات

تَتَمتع مصادر الطاقة البحرية المُتجددة بإمكانيات كبيرة لتَقليل الطلب البشرى على الوقود الأحفورى وتَقليل غازات الاحتباس الحراري.

وتَتَعدد التقنيات القَادرة على إنتاج الطاقة من المحيطات حيثُ يَستفيد مُعظمها من الرياح أو الأمواج أو التيارات أو المد والجزر أو التَدرجات الحرارية والتي يُشار إليها مُجتمعة باسم تقنيات الطاقة المُتجددة البحرية (ORED).

ومع التَوسع فيلتقنيات سَتُؤثر حتماً على السطحِ والأعماقِ للمحيطات من خلال قنواتٍ عديدة منها:

الوجود المادي

سَتعمل الهياكل الثابتة مثل الركائز والكابلات الداعمة على تَغيير الموائل البحرية التي تَعيش بالسطح والتي تَعيش بالأعماق. فالهياكل غير المُعَالجَة بالمواد الكيميائيةالمُضادة للتآكل والصدأ سَتَخلق موائل استقرار جديدة وتُشكل أساس الشعاب الاصطناعية وأماكن تَجميع الأسماك، كما سَتَخلق أيضاً حواجز أمام هجرة الأنواع فوق وتحت الماء.

التَأثير الديناميكي

تُشكل الهياكل ذات الأجزاء المُتحركة (مثل أجهزة طاقة الرياح والتوربينات الموجودة تحت الماء) خطورة كبيرة وبشكلٍ خاص على الطيور المهاجرة والحيتان والأسماك كما وتَعمل على تَعديل حركة المياه مما قد يُؤدى إلى تَغيير تَحركات الأنواع البحرية المُختلفة.

التأثيرات الكيميائية

من الوارد أن تَتَسرب المواد المُضادة للتأكل والصدأ والمواد الكيميائية الأخرى المُستخدمة فى تقنيات الطاقة البحرية المُتَجددة إلى مياه المحيطات كما يُؤدى إنشاء الهياكل وصيانتها وإيقاف تشغيلها إلى زيادة مخاطر تَسرب المواد الكيميائية لمياه المحيطات.

3- التَوسع في عمليات التَعدين في أعماق البحار لتلبية الطلب على عناصر الأرض النادرة

يتواجد في الطبيعة نحو 17 عنصراً من العناصر الأرضية النَادرة (15 عنصراً من سلسلة اللانثينيدات (lanthanides) بالإضافة إلى الإيتريوم (yttrium) والسكانديوم (scandium)) وهى عناصر ضرورية لتطوير وتَشغيل مجموعة مُتنوعة من تقنيات الطاقة المُتجددة بما فى ذلك الخلايا الشمسية وتوربينات الرياح والمركبات الكهربائية. تَحتوى المناطق العميقة للبحار والمحيطات وخَاصةً المناطق المُحيطة بالفتحات الحرارية المائية (Hydrothermal vents) على كميات هائلة نسبياً من العناصر الأرضية النَادرة التى يُمكن أن تُساعد في بيئة هذا الطلب المُتزايد وتُمنح عقود التَعدين لأعماق البحار والمحيطات بما فى ذلك التربة النادرة لعدد من البلدان والشركات ومع ذلك فإن تَكاليف استخراج هذه العناصر الأرضية النَادرة لا تَزال باهظة ولا تُوجد مناجم على نطاق تجارى قيد التشغيل حتى الآن. بالإضافة إلى المخاطر المُعتادة المُرتبطة بالتَعدين والصناعات الاستخراجية الأخرى في المحيط (بما في ذلك احتمال إطلاق العناصر السامة والتلوث الناتج عن عمليات التجريف وزيادة الضوضاء والتَلوث الحراري وفقدان التنوع البيولوجي).

وفى الأخير يَحمل التعدين في قاع البحار في تطياته تَحديات إضافية مثل احتمال التَضارب مع الاستخدامات البحرية الأخرى والتَعقيدات القانونية والسياسية للعمل تَحت المياه الدولية في المنطقة المفتوحة.

المراجع

- **Barange, M., M. Butenschön, A. Yool, N. Beaumont, J.A. Fernandes, A.P. Martin and J. Allen. 2017. "The Cost of**

Reducing the North Atlantic Ocean Biological Carbon Pump." Frontiers in Marine Science 3: 290. https://doi.org/10.3389/fmars.2016.00290

- **Barange, M., T. Bahri, M.C.M. Beveridge, K.L. Cochrane, S. Funge-Smith and F. Poulain, eds. 2018. Impacts of Climate Change on Fisheries and Aquaculture: Synthesis of Current Knowledge, Adaptation and Mitigation Options. Rome: Food and Agriculture Organization of the United Nations.**
- **Brander, K. 2010. "Impacts of Climate Change on Fisheries." Journal of Marine Systems 79 (3–4): 389–402. https://doi.org/10.1016/j.jmarsys.2008.12.015.**
- **Costanza, R., R. de Groot, P. Sutton, S. van der Ploeg, S.J. Anderson, I. Kubiszewski, S. Farber, et al. 2014. "Changes in the Global Value of Ecosystem Services." Global Environmental Change 26 (May): 152–58. https://doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2014.04.002.**
- **Dangendorf, S., M. Marcos, G. Wöppelmann, C.P. Conrad, T. Frederikse and R. Riva. 2017. "Reassessment of 20th Century Global Mean Sea Level Rise." Proceedings of the National Academy of Sciences 114 (23): 5946–51. https://doi.org/10.1073/pnas.1616007114.**
- **Donner, S.D., W.J. Skirving, C.M. Little, M. Oppenheimer and O. Hoegh-Guldberg. 2005. "Global Assessment of Coral Bleaching and Required Rates of Adaptation under Climate**

Change." Global Change Biology 11 (2): 2251–65. https://doi.org/ 10.1111/j.1365-2486.2005.01073.x.

- **Dutta, T., K-H. Kim, M. Uchimiya, E.E. Kwon, B-H. Jeon, A. Deep and S-T. Yun. 2016."Global Demand for Rare Earth Resources and Strategies for Green Mining". Environmental Research 150 (October): 182–90. https://doi.org/10.1016/j.envres.2016.05.052.**
- **Gattuso, J-P., A. Magnan, R. Billé, W.W.L. Cheung, E.L. Howes, F. Joos, D. Allemand, et al. 2015. "Contrasting Futures for Ocean and Society from Different Anthropogenic CO2Emissions Scenarios." Science 349 (6243): aac4722. https://doi.org/10.1126/science.aac4722.**
- **IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change). 2014. Climate Change 2014: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fifth Assessment Report on the Intergovernmental Panel on Climate Change. Geneva: Intergovernmental Panel on Climate Change. https://www.ipcc.ch/report/ar5/syr/**
- **IPCC. 2019. IPCC Special Report on the Ocean and Cryosphere in a Changing Climate (SROCC). Edited by H.O. Pörtner, D.C. Roberts, V. Masson-Delmotte, P. Zhai, M. Tignor, E. Poloczanska, K. Mintenbeck, et al. Geneva: Intergovernmental Panel on Climate Change.**
- **Kopp, R.E., R.M. Horton, C.M. Little, J.X. Mitrovica, M. Oppen-heimer, D.J. Rasmussen, B.H. Strauss and C. Tebaldi.**

2014. “Probabilistic 21st and 22nd Century Sea-Level Projections at a Global Network of Tide-Gauge Sites.” Earth’s Future 2 (8): 383–406. https://doi.org/10.1002/2014EF000239.

- Kwok, R. 2018. “Arctic Sea Ice Thickness, Volume, and Multiyear Ice Coverage: Losses and Coupled Variability (1958–2018).” Environmental Research Letters 13 (10): 105005. https://doi.org/10.1088/1748-9326/aae3ec.
- OECD (Organisation for Economic Co-operation and Development). 2016. The Ocean Economy in 2030. Paris: OECD Publishing.
- Ruiz-Ramírez, J.D., J.I. Euán-Ávila and V.H. Rivera-Monroy. 2019. “Vulnerability of Coastal Resort Cities to Mean Sea Level Rise in the Mexican Caribbean.” Coastal Management 47 (1): 23–43. https://doi.org/10.1080/08920753.2019.1525260
- Sae-Lim, P., A. Kause, H.A. Mulder and I. Olesen. 2017. “Breeding and Genetics Symposium: Climate Change and Selective Breeding in Aquaculture.” Journal of Animal Science 95 (4): 1801–12. https://doi.org/10.2527/jas.2016.1066.
- Weatherdon, L.V., A.K. Magnan, A.D. Rogers, U.R. Sumaila and W.W.L. Cheung. 2016. “Observed and Projected Impacts of Climate Change on Marine Fisheries, Aquaculture, Coastal Tourism, and Human Health: An Update.” Frontiers in Marine Science 3. https://doi.org/10.3389/fmars.2016.00048