الوضع العالمي لاحتجاز الكربون وتخزينه لعام 2025

الاستمرار في المسار الصحيح

GLOBAL CCS INSTITUTE

الفهرس

كلمة الرئيس التنفيذي 03

1.0 لمحة عالمية 05

2.0 تسليط الضوء على الوضع الإقليمي 13

- الأمريكتان 14
- أوروبا والمملكة المتحدة 20
- الشرق الأوسط وأفريقيا 27
- آسيا والمحيط الهادئ والهند 32
- الصين 36
- اليابان 39

3.0 قائمة المرافق 43

- قيد التشغيل 44
- قيد الإنشاء 47

4.0 المراجع 49

من نحن

المعهد العالمي لاحتجاز الكربون وتخزينه (المعهد) هو هيئة عالمية رائدة في مجال احتجاز الكربون وتخزينه.

يقع المقر الرئيسي للمعهد في ملبورن، أستراليا، وله حضور في مناطق رئيسية حول العالم. يقدِّم المعهد تحليلات مستقلة ويعمل على تبادل المعرفة لدعم عملية وضع السياسات والتنفيذ الفعّال لتقنية احتجاز الكربون وتخزينه على مستوى العالم.

تأسَّس المعهد في عام 2009 استجابةً للاعتراف المتزايد في أوساط المجتمع الدولي المعني بسياسات المناخ بأن احتجاز الكربون وتخزينه يعدّ أمرًا أساسيا لتحقيق خفض كبير في الانبعاثات. ومع تزايد الزخم حول تقنية احتجاز الكربون وتخزينه، زادت الحاجة إلى إنشاء منظمة متخصصة لتقديم إرشادات تقنية وسياسية وتنظيمية متخصصة ومشاركة الخبرات العالمية والمحلية في هذا المجال وتعزيز التنسيق بين مختلف القطاعات عبر سلسلة القيمة بأكملها ومختلف أصحاب المصلحة. وقد أُنشِأ المعهد لتلبية هذا الدور بوصفه مؤسسة فكرية عالمية مستقلة تركز على هدف واحد يتمثل في تعزيز نشر تقنية احتجاز الكربون وتخزينه بوصفها عنصرًا أساسيًا في التخفيف من آثار تغير المناخ العالمي.

يُعدّ المعهد جهة رقابية رسمية لاتفاقية الأمم المتحدة الإطارية بشأن تغيّر المناخ، ويعمل بوصفة جهة إدارية مسؤولة عن تحدّي إدارة الكربون، ما يعكس دوره الرسمي في دعم التعاون الدولي وتعزيز الدور المحوري الذي تؤديه تقنية احتجاز الكربون وتخزينه في الوصول إلى صافي انبعاثات صفرية.

تضم عضويتنا حكومات وطنية وقطاعات صناعية ومؤسسات بحثية ومنظمات مجتمع مدني عبر سلسلة القيمة الكاملة لاحتجاز وتخزين الكربون، وجميعهم متعاونون في التزامهم بتعزيز العمل المناخي من خلال إدارة الكربون. يضم أعضاؤنا الحكوميون حكومات على المستويين الوطني ودون الوطني. في الوقت الحالي، تشمل قائمة الدول التي تمثلها حكوماتها في عضوية المعهد كلًا من أستراليا والصين واليابان والمملكة العربية السعودية والمملكة المتحدة والولايات المتحدة الأمريكية، أما على المستوى دون الوطني فتشمل مقاطعة ألبرتا في كندا والإقليم الشمالي وفيكتوريا في أستراليا، ما يعكس الانتشار العالمي للمعهد ومشاركته الفعالة في وضع السياسات الدولية المتعلقة بالمناخ والطاقة.

يستند عمل المعهد إلى أربعة محاور رئيسية:

المعرفة والرؤى التحليلية

نقدِّم تحليلات مستقلة مبنية على الأدلة لتوضيح الدور المحوري الذي تؤديه تقنية احتجاز الكربون وتخزينه والمساعدة في توجيه السياسات واللوائح والاستراتيجيات عبر سلسلة القيمة الخاصة بهذه التقنية، ويشمل ذلك إعداد تقارير عن الوضع العالمي وملخصات السياسات وتحليلات السوق والتقييمات الفنية، وجميعها مصممة لتزويد صُنّاع القرار بمعلومات موثوقة وحديثة. يتكوّن فريقنا من خبراء تقنيين داخليين وقادة إقليميين ميدانيين يسهمون في تعزيز أجندة أعمال احتجاز الكربون وتخزينه على المستوى العالمي.

الدعوة

يتفاعل المعهد مباشرةً مع الحكومات والمنتديات الدولية المعنية بالمناخ مثل مؤتمر الأمم المتحدة المعني بتغيير المناخ والمؤتمر الوزاري للطاقة النظيفة لدعم وضع السياسات والأطر التنظيمية الفعّالة الخاصة بتقنية احتجاز الكربون وتخزينه. ومن خلال التقارير الرسمية المُقدمة والحوار الاستراتيجي والشراكات المؤسسية، نعمل على دعم عملية دمج تقنية احتجاز الكربون وتخزينه في الاستراتيجيات الوطنية والدولية المتعلقة بالمناخ، والدعوة إلى اعتمادها كأداة أساسية للوصول إلى صافي انبعاثات صفرية.

بناء القدرات وتقديم الاستشارات

يقدّم المعهد برامج تدريبية وورش عمل واستشارات استراتيجية تهدف إلى تعزيز القدرات المؤسسية والتقنية والبشرية. ويساعد دعمنا مختلف أصحاب المصلحة على إدارة عملية تخطيط تقنية احتجاز الكربون وتخزينه وتنظيمها وتنفيذها، بما يتناسب مع سياقاتهم السياسية والسوقية الخاصة.

التعاون والتنسيق

يجمع المعهد بين مختلف أصحاب المصلحة عبر سلسلة القيمة الكاملة لتقنية احتجاز الكربون وتخزينه، ومن قطاعات ومناطق متعددة، بهدف تعزيز التوافق وتسريع وتيرة تبادل المعرفة ومعالجة التحديات المشتركة التي تواجه عملية نشر هذه التقنية. يسهم المعهد، من خلال المنتديات العالمية والموائد المستديرة الإقليمية والحوارات ذات الأهداف المُحدَّدة، في تسهيل التعاون الاستراتيجي لدعم توسيع نطاق نشر تقنية احتجاز الكربون وتخزينه والمساعدة في خفض الانبعاثات.

مصنع فروست سي سي التجريبي التابع لشركة كاربون أميركا في المركز الوطني لاحتجاز الكربون بالولايات المتحدة. الصورة مُقدَّمة بإذن من شركة كاربون أميركا والمركز الوطني لاحتجاز الكربون وشركة ساوثرن.

حول التقرير

يلخّص هذا التقرير أبرز الإنجازات العالمية لتبني تقنية احتجاز الكربون وتخزينه في الإثني عشر شهرًا الماضية. ويُسلِّط الضوء على مدى التقدم الذي تُحرزه هذه التقنية في مختلف المناطق، وإن كان ذلك بنسب متفاوتة.

تُعَدّ تقنية احتجاز الكربون وتخزينه أداةً أساسية معترف بها عالميًا لمواجهة تغيّر المناخ. وفي الوقت الراهن، تُدرج أكثر من ثلاثين دولة هذه التقنية بوضوح ضمن مساهماتها المحددة وطنيًا بموجب اتفاقية باريس، كما تسهم مجموعة متنوعة من الأدوات والسياسات في تعزيز استثمارات القطاع الخاص. وسيتطلب تحقيق نشر هذه التقنية على نطاق الجيجا طن تعاونًا طويل الأمد لضمان مستقبل مستدام ومنخفض الانبعاثات الكربونية.

يُسلّط هذا التقرير الضوء على التقدّم المُحرَز في عملية نشر تقنية احتجاز الكربون وتخزينه حول العالم. وللمرة الأولى، يتضمّن قسمًا مخصّصًا لليابان نظرًا لتطوراتها المحلية وتأثيرها المتزايد في منطقة آسيا والمحيط الهادئ.
يستند العرض الشامل الذي يقدمه هذا التقرير حول قطاع احتجاز الكربون وتخزينه عالمياً على قاعدة بيانات المعهد عن مرافق احتجاز وتخزين الكربون (CO_2RE)، وإلى التحليلات التي أجراها الفريق العالمي التابع للمعهد.

منذ صدور تقرير الوضع العالمي الأخير قبل عام، ارتفع عدد المرافق قيد التشغيل من 50 إلى 77 مرفق، في حين زاد العدد الإجمالي للمشاريع قيد التطوير من 628 إلى 734 مرفق. وتُبرز هذه الزيادة في عدد المشاريع مدى التزام الحكومات والشركآت بمواصلة تطوير هذه التقنية الهامة على الرغم من التحديات الجيوسياسية التي تواجه بعض المناطق.

كيفية التنقل في هذا التقرير

يمكن استخدام الرموز الموجودة في اللوحة اليمنى من المستند للتنقل بين الصفحات والأقسام. توجد ثلاثة أزرار مزودة بأيقونات.

مفتاح الأيقونات

الصفحة الرئيسية استخدم زر الصفحة الرئيسية للعودة إلى الفهرس. (استخدم عناوين الفهرس للانتقال إلى الصفحة أو القسم المطلوب)

السهم إلى اليمين للانتقال إلى الصفحة التالية

السهم إلى اليسار للانتقال إلى الصفحة السابقة

هل تريد الاطلاع على المزيد؟

يُستخدم هذا الزر في مختلف أجزاء التقرير. ويمكن النقر عليه لفتحه والاطلاع على المعلومات المفصلة.

للاطلاع على المزيد:
يُرجَى النقر هنا

للمزيد من المعلومات

يرجى الاطلاع على القائمة الكاملة للمصطلحات والرموز المختصرة

يُرجَى النقر هنا

مصنع عرض تقنية احتجاز الكربون دي ام اكس التابع لاكسينز في ارسيلور ميتال فرانس دونكيرك، الصورة مُقدَّمة بإذن من اكسينز.

كلمة الرئيس التنفيذي

الوضع العالمي لالتقاط الكربون وتخزينه: المضيّ قدماً على المسار الصحيح

جارد دانيلز، الرئيس التنفيذي

لقد كان عامًا حافلًا بالأحداث، شهد تقدّماً كبيراً في وضع السياسات في بعض المناطق، وظهرت حالات من عدم اليقين في مناطق أخرى. ومع ذلك، فإن مسار العمل واضح بشكل عام: تشهد تقنية احتجاز الكربون وتخزينه توسّعًا متسارعًا، مدعومًا بأطر سياسية أكثر استدامة وتزايد مشاركة القطاع الخاص وتوسع البنية التحتية على المستوى العالمي.

حتى تاريخ 28 يوليو، يوجد 77 مشروعًا تجاريًا لتقنية احتجاز الكربون وتخزينه قيد التشغيل بسعة احتجاز إجمالية تبلغ 64 مليون طن سنويًا. ويجدر التنويه إلى وجود سعة احتجاز إضافية تبلغ 44 مليون طن سنويًا قيد الإنشاء حاليًا، ما يعني أن السعة التشغيلية من المتوقع أن تزيد بنحو 70% في غضون السنوات القادمة مع بدء تشغيل هذه المشاريع.

العديد من هذه المشاريع الحديثة تُعدُّ الأولى من نوعها على نطاق تجاري، وتشمل قطاعات مثل إنتاج الأسمنت وتوليد الطاقة باستخدام الغاز الطبيعي. تمثّل هذه الإنجازات خطوة محورية إلى الأمام في إثبات إمكانية تطبيق تقنية احتجاز الكربون وتخزينه في مجموعة واسعة من البيئات الصناعية ودورها الرئيسي في خفض الانبعاثات الكربونية من القطاعات الصناعية الحيوية.

تتبنّى مناطق مختلفة نماذج سياسات متنوّعة للتمكين من تحقيق هذا التقدّم. في الولايات المتحدة، تسارعت وتيرة نشر تقنية احتجاز الكربون وتخزينه بفضل مجموعة من الاستثمارات الفيدرالية المباشرة والحوافز الضريبية الفيدرالية مثل الائتمان بموجب المادة 45Q، الذي يدعم مشاركة القطاع الخاص في الاستثمارات والابتكار في هذا المجال.

مع ذلك، تُثير التحوّلات الأخيرة في المناخ والسياسات الأمريكية حالة من عدم اليقين بشأن استمرارية التمويل على المدى الطويل والتوجيهات التنظيمية. ورغم ذلك، ما يزال الائتمان الضريبي بموجب المادة 45Q يحظى بدعم من الحزبين، بل وشهد تحسينات هذا العام. ما يزال الدعم القوي لتقنية احتجاز الكربون وتخزينه على مستوى الولايات قائمًا، وما تزال المشاريع مستمرةً في التقدّم.

اتّبعت المملكة المتحدة مسارًا منسّقًا مركزيًا، من خلال تنفيذ استراتيجية تسلسلية لتطوير مناطق صناعية متكاملة لتطبيق تقنية احتجاز الكربون وتخزينه، وذلك عبر اختيار حكوميٍّ تنافسيٍّ وتمويله. أما في الشرق الأوسط والصين، يُمكّن التوجيه الحكومي القوي والدعم المالي الكبير المشاريع من الانتقال من مرحلة التخطيط إلى مرحلة التشغيل بوتيرة أسرع بكثير.

تعكس هذه المناهج المتنوّعة السياقات التنظيمية والأولويات السياسية الخاصة بكل دولة، لكنها جميعًا تتجه نحو هدف مشترك: إدارة الكربون على نطاق واسع. بدأت الصين، على وجه الخصوص، تشهد ظهور العديد من مشاريع احتجاز الكربون وتخزينه واسعة النطاق، ما يؤكد قدرتها على أداء دور حيوي في نشر هذه التقنية عالميًا. كما تشهد تقنية احتجاز الكربون وتخزينه توسعًا في منطقة أستراليا وتطورًا في جنوب شرق آسيا. يوجد مرفقان عاملان في أستراليا ومرفق في نيوزيلندا. وتستضيف كلٌ من إندونيسيا وماليزيا مرفقًا واحدًا قيد الإنشاء.

كما يبرز الزخم العالمي في نمو البنية التحتية. حيث تتزايد مشاريع نقل وتخزين ثاني أكسيد الكربون المتخصّصة، إذ تضاعف عددها في أوروبا بين عامي 2023 و2024 فقط، ما يضع الأساس لإنشاء شبكات احتجاز وتخزين كربون مشتركة تُحسِّن قابلية التوسع وتُسهم في خفض التكاليف. تُرسِّخ مشاريع مثل تجمّع الساحل الشرقي في المملكة المتحدة، ومركز احتجاز الكربون وتخزينه في الجبيل بالمملكة العربية السعودية، ومبادرة "لونغشيب" في النرويج، المعاييرَ المرجعية لشبكات احتجاز الكربون وتخزينه المتكاملة. يمثّل التشغيل التجريبي لمشروع لونغشيب إنجازًا بارزًا في تاريخ تقنية احتجاز الكربون وتخزينه، كما يُرسل القرار الاستثماري النهائي الأخير لتوسيع سعة التخزين إشارة قوية إلى أن سلسلة احتجاز الكربون وتخزينه الكاملة جاهزة للتوسع.

يشهد مجال نقل ثاني أكسيد الكربون عبر الشحن البحري نموًا ملحوظًا، مع وجود سفن مخصّصة لنقل ثاني أكسيد الكربون قيد التصميم والإنشاء والتشغيل التجريبي. سينشر المعهد في شهر نوفمبر تقريرًا حول الشحن بعنوان "الاحتياجات والفرص والتطلعات المستقبلية لنقل ثاني أكسيد الكربون في مشاريع احتجاز الكربون وتخزينه" يشير إلى أن عملية نقل ثاني أكسيد الكربون ستشهد نموًا سريعًا مع تزايد عدد مشاريع احتجاز الكربون وتخزينه التي تختار النقل البحري بدلًا من خطوط الأنابيب، خاصةً في الحالات التي تكون فيها المسافات طويلة أو الأحجام متفاوتة. ورغم استمرار وجود تحديات تنظيمية وتقنية، يتزايد الزخم لجعل عملية نقل ثاني أكسيد الكربون عنصرًا أساسيًا في التخفيف من آثار تغير المناخ العالمي. تُسهم هذه التطورات التي تشهدها بنية النقل والتخزين في تمكين الدول المصدّرة للانبعاثات بمختلف أحجامها من التوصل إلى حلول إدارة الكربون، وألّا تقتصر هذه الحلول على الدول التي تمتلك قدرات داخلية متقدمة فحسب.

> كما يبرز الزخم العالمي في نمو البنية التحتية. حيث تتزايد مشاريع نقل وتخزين ثاني أكسيد الكربون المتخصّصة، إذ تضاعف عددها في أوروبا بين عامي 2023 و2024 فقط، ما يضع الأساس لإنشاء شبكات احتجاز وتخزين كربون مشتركة تُحسِّن قابلية التوسع وتُسهم في خفض التكاليف.

كلمة الرئيس التنفيذي (تتمة)

ومن المهم أن القطاع المالي بات منخرطًا على نحو متزايد. فحاليًّا يجري العمل على تأمين تمويل بالديون غير المرتجعة لمشاريع احتجاز الكربون وتخزينه، مثل مشروعي "صافي الانبعاثات الصفرية في تيسايد" و"شراكة نورثرن إنديورانس"، حيث تتوافر أطر سياسات وآليات شراء فعالة. ويمثل هذا الإنجاز علامة على تطور متزايد في بيئة التمويل، مدعومًا بظهور منتجات تأمينية متخصصة وعقود موحّدة وهياكل تمويلية مخصّصة للمشاريع.

يشهد القطاع الصناعي ازديادًا ملحوظًا في المشاركة والمطالبة بإيجاد حلول منخفضة الانبعاثات الكربونية، لا سيما في القطاعات التي يصعب فيها تخفيض الانبعاثات مثل صناعة الأسمنت. وتُنفَّذ حاليًا عدة مشاريع تجريبية وتجارية، من بينها محطات لاحتجاز الكربون وتخزينه في قطاع الإسمنت تعمل في الصين والنرويج، ما يشير إلى التزام قوي من القطاع بتحقيق خرسانة صافية الانبعاثات بحلول منتصف القرن، ويؤكّد أن تقنية احتجاز الكربون وتخزينه تعد أداة حيوية لتخفيض الانبعاثات الكربونية الناتجة عن الأنشطة الصناعية.

في الوقت ذاته، أدّى التوجه نحو توليد الطاقة منخفضة الانبعاثات الكربونية والمستقرة إلى زيادة الاهتمام بتقنية احتجاز الكربون وتخزينه في محطات الغاز الطبيعي، لا سيما في أمريكا الشمالية، حيث يتزايد الطلب على الطاقة الكهربائية بفضل الذكاء الاصطناعي ومراكز البيانات والبنية التحتية الرقمية. وفي الوقت نفسه، يسهم الطلب المتزايد على عمليات إزالة الكربون عالية الجودة في تحفيز الاستثمارات في احتجاز الكربون من الهواء مباشرة والطاقة الحيوية مع احتجاز الكربون وتخزينه. وتدعم أسواق الكربون الطوعية والتزامات الشركات المتعلقة بالمناخ هذه التقنيات، ما يفتح آفاقًا جديدة لمسارات إزالة الكربون القابلة للتوسع.

رغم التقدم الذي أحرزناه هذا العام، إلا أننا ما زلنا بعيدين عن تحقيق أهدافنا في نشر حلول إدارة الكربون. فحتى لو بدأ تشغيل جميع المشاريع الموجودة في قائمة الانتظار الحالية، لن نتمكّن من تحقيق أهدافنا في احتجاز ثاني أكسيد الكربون على نطاق الجيجا طن، وكل عام من التأخير يجعل عملية تحقيق أهدافنا المتعلقة بالمناخ أصعب وأكثر تكلفة.

الطريق أمامنا ليس خاليًا من التحديات. فقد أظهرت حالة عدم اليقين الأخيرة في السياسات في بعض الولايات القضائية الرئيسية عوائق جديدة في وقت حرج.

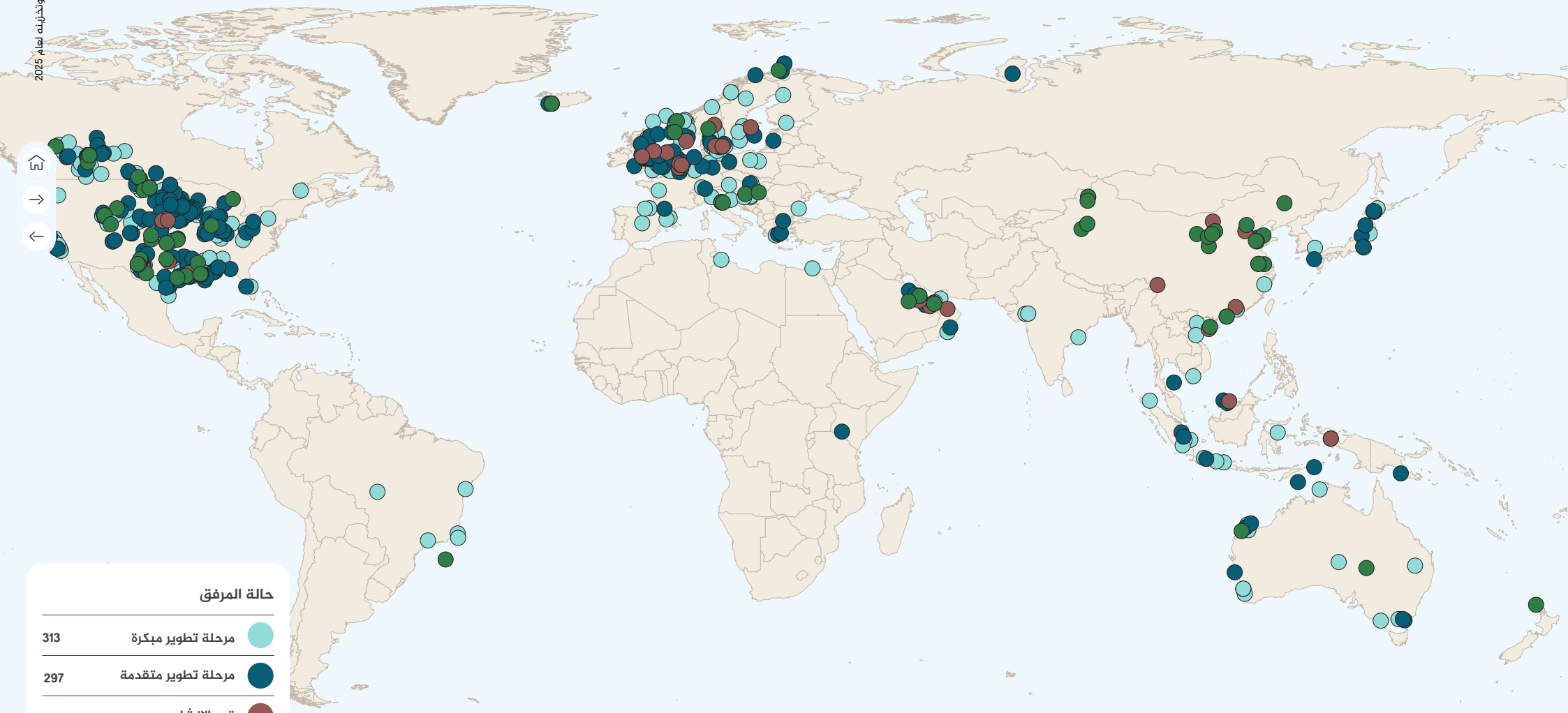
لا تزال العديد من المناطق تواجه ثغرات سياسية وتنظيمية وأطر تمويل غير مؤكدة إضافةً إلى عوائق تتعلق بالوعي العام. وبالتأكيد ليست الصورة وردية بالكامل، ولا يزال الكثير من العمل مطلوبًا، ولا سيّما فيما يتعلّق بتطوير أسواق قابلة للاستثمار في إدارة الكربون. ومع ذلك، في ظل حالة عدم اليقين هذه، أصبح من الأهمية من أي وقت مضى أن نواصل المسار. لا يزال المعهد ملتزمًا بالعمل مع مجتمع احتجاز الكربون وتخزينه العالمي لمعالجة هذه القضايا بفعالية من خلال تبادل المعرفة والرؤى وبدء مناقشات هادفة وعقد اجتماعات مع صانعي القرار وإقامة الشراكات في كل منطقة من مناطق العالم لتحقيق أهدافنا المشتركة على نطاق الجيجاطن.

وحدة كابسول جو التجريبية التابعة لشركة كابسول تكنولوجيز في محطة ميلارينرجي بالسويد. الصورة مقدّمة بإذن من قُدسية برفين، كابسول تكنولوجيز.

لمحة عامة عن الوضع العالمي

1.0

تتوسع تقنية احتجاز الكربون وتخزينه في مختلف المناطق بحلول عام 2025 في ظل التزامات سياسية أقوى



حالة المرفق	
مرحلة تطوير مبكرة	313
مرحلة تطوير متقدمة	297
قيد الإنشاء	47
قيد التشغيل	77

أُضيف مشروع تقنية احتجاز الكربون وتخزينه الخاص بشركة إيني "ستراكتشرز اية اند اي" في ليبيا إلى هذه الخريطة، لكنه غير مدرج ضمن عدد المشاريع الواردة في هذا التقرير.

أينما توجد السياسات، توجد المشاريع

شهدت الأشهر الإثني عشر الماضية تقدّمًا ملحوظًا في وضع السياسات والقوانين والأطر التنظيمية الخاصة بتقنية احتجاز الكربون وتخزينه في العديد من الدول، ويتجلى ذلك في زيادة عدد المشاريع التجارية لاحتجاز الكربون وتخزينه التي أصبحت حاليًّا قيد التشغيل أو الإنشاء أو التطوير. في العديد من الولايات القضائية حول العالم، ازدادت إمكانية ربط عملية وضع السياسات والأسس التنظيمية الوطنية في الوقت المناسب بقائمة الانتظار الناشئة لمشاريع احتجاز الكربون وتخزينه.

لا يزال تطبيق السياسات والقوانين واللوائح الداعمة عاملًا حاسمًا لتوسيع نطاق مشاريع احتجاز الكربون وتخزينه عالميًا. إن الالتزامات السياساتية المعزّزة التي تعترف بقدرات تقنيات احتجاز الكربون وتخزينه على خفض الانبعاثات وتوفّر مسارات للدعم المالي، مقترنة بالأطر القانونية والتنظيمية الممكّنة، تُسهِم في تشكيل ونَمْذَجة ونموّ نشرٍ تجاري واسع النطاق ومستدام.

تظل الاعتبارات العابرة للحدود أمرًا ضروريًا بالنسبة لصانعي السياسات والجهات التنظيمية في عدة مناطق، حيث تعتمد المشاريع على وضع حلول سياسية وقانونية وتنظيمية تدعم نقل ثاني أكسيد الكربون عبر الحدود الجغرافية.

وقد قدّمت الحكومات الوطنية مزيدًا من وثائق التصديق على تعديل عام 2009 المتعلق بالنقل العابر للحدود ضمن بروتوكول لندن، بالإضافة إلى الإخطارات الخاصة بتطبيقه المؤقت، وقد سجّلت المنظمة البحرية الدولية هذه الإجراءات، بما يسلّط الضوء على الأهمية الكبيرة التي يُولَيها لهذا الموضوع المحوري. وفي الوقت ذاته، تواصل عدة حكومات في جميع أنحاء أوروبا ومنطقة آسيا والمحيط الهادئ عملية وضع أطر سياسية وتنظيمية، فضلًا عن الاتفاقيات الرسمية بين الدول، التي ستدعم سلاسل القيمة العابرة للحدود وتضمن الاعتراف الرسمي بإمكاناتها في التخفيف من آثار تغيّر المناخ.

على الرغم من اختلاف وتيرة وضع السياسات والأطر التنظيمية على المستويين الإقليمي والوطني بشكل كبير، بدأت التطورات الملحوظة خلال الأشهر الإثني عشر الماضية توفر مزيدًا من حالات اليقين لقطاع الصناعات والمستثمرين. في العديد من الدول الرائدة مثل الولايات المتحدة والمملكة المتحدة، تُقدَّم مبادرات سياسية وتنظيمية جديدة لتوسيع نطاق الأطر والأنظمة القائمة وتعزيزها.

وفي دول أخرى، يطرح صانعو السياسات والجهات التنظيمية مبادرات سياسية جديدة، فضلًا عن نماذج أولية للقوانين واللوائح الوطنية ودون الوطنية. على الرغم من أن الصورة العالمية لا تزال غير مكتملة إلى حد كبير، إلا أن هذه التطورات قد أحرزت تقدمًا هامًا في عملية إزالة العديد من العقبات المتبقية في العديد من المناطق والولايات القضائية.

في منطقة الأميركيتين، تستمر البيئة السياسية والقانونية والتنظيمية في التطور، وإن كان ذلك بمستويات متفاوتة من التعقيد والسرعة. وفي الولايات المتحدة، يتناقض التراجع عن بعض سياسات المناخ التي اعتمدتها إدارة بايدن، والاقتراح بإلغاء معايير انبعاثات الغازات الدفيئة لمحطات الطاقة العاملة بالوقود الأحفوري، مع استمرار دعم برنامج 45Q للائتمان الضريبي والتشريعات الجديدة على مستوى الولايات التي تهدف إلى دعم أنشطة إدارة الكربون.
وفي أماكن أخرى من المنطقة، أعربت كلٌّ من الحكومتين الكندية والبرازيلية عن استمرار دعمهما لتقنيات احتجاز الكربون وتخزينه، من خلال تمديد مخططات الحوافز وتقديم مقترحات تشريعية جديدة.

في أوروبا، تواصل المفوضية الأوروبية طرح مبادرات سياسية جديدة وهامة تُرسِّخ مكانة تقنيات احتجاز الكربون وتخزينه بصفتها مكوّن أساسي في تحقيق التزامات الاتحاد الأوروبي المتعلقة بمكافحة آثار تغيّر المناخ والوصول إلى صافي انبعاثات صفرية. وفي الوقت ذاته، تتخذ العديد من الدول الأعضاء خطوات مهمة لدمج تقنيات احتجاز الكربون وتخزينه على نطاق أوسع ضمن أنظمتها السياسية الوطنية، بما في ذلك من خلال منح الحوافز والدعم المباشر للمشاريع التجارية. أما في المملكة المتحدة، التي تحظي فيها تقنية احتجاز الكربون وتخزينه بدعم سياسي طويل الأمد، فقد تحققت نتائج استثمارية إيجابية في المشاريع المدعومة من الحكومة.

مُعالجة الثغرات

لقد أثبتت التطورات السياسية والتنظيمية أيضًا أهميتها بصفتها عنصرًا أساسيًّا في أنشطة احتجاز الكربون وتخزينه التي تنفذها الحكومات الوطنية في جميع أنحاء آسيا. في اليابان، عزّزت الحكومة التزامها بتطبيق تقنيات احتجاز الكربون وتخزينه وأكّدت مجددًا دورها في تحقيق أهداف البلاد المتعلقة بالوصول إلى صافي انبعاثات صفرية. قد أسهمت عملية وضع نظام قانوني وتنظيمي جديد لعمليات تخزين ثاني أكسيد الكربون المحلية في معالجة ثغرة كبيرة في الإطار الوطني، ما يوفر مزيدًا من حالات اليقين للمستثمرين ومطوري المشاريع.

ستدعم عملية تنفيذ التشريعات في كلٍّ من إندونيسيا وماليزيا عمليات احتجاز الكربون وتخزينه المحلية، وستسهم في معالجة إحدى العقبات الرئيسية التي تواجه الدول الأخرى التي تسعى إلى نقل ثاني أكسيد الكربون الخاص بها إلى أيّ دولة من الدولتين كجزء من سلاسل القيمة العابرة للحدود الخاصة باحتجاز الكربون وتخزينه. من المؤكد أن تُسفر المناقشات الجارية بين حكومات أستراليا وإندونيسيا واليابان وماليزيا وسنغافورة وكوريا الجنوبية عن الإعلان عن مزيد من المشاريع والتطورات السياسية في السنوات القادمة.

وفي الشرق الأوسط والصين، حيث تواصل الحكومات قيادة تطوير المشاريع على نحو كبير، تزايد التركيز على تطوير الأطر السياساتية والقانونيّة والتنظيمية. على سبيل المثال، سلّطت التطورات السياسية الهامة في الصين الضوء على الدعم الحكومي المستمر لأنشطة احتجاز الكربون وتخزينه في قطاعات محددة، في حين أن التوسّع المقترح لسوق تداول الكربون قد يوفر حوافز مستقبلية تُشجع على نشر هذه التقنيات على نطاق أوسع.

> على الرغم من اختلاف وتيرة وضع السياسات والأطر التنظيمية على المستويين الإقليمي والوطني بشكل كبير، بدأت التطورات الملحوظة خلال الأشهر الإثني عشر الماضية توفر مزيدًا من حالات اليقين لقطاع الصناعات والمستثمرين.

ارتفع عدد المرافق قيد التشغيل بنسبة 54% على أساس سنوي.

77

ارتفع عدد المرافق قيد التشغيل بنسبة 54% على أساس سنوي.

64 مليون طن سنويًا

ارتفعت السعة الإجمالية قيد التشغيل بنسبة 25% على أساس سنوي.

734

ارتفع العدد الإجمالي للمرافق بنسبة 17% على أساس سنوي ليصل إلى 734 مرفق.

46%

زيادة بنسبة 46% في سعة احتجاز المرافق في مرحلة التطوير الأخيرة (التصاميم الهندسية الأولية)، من 180 إلى 262 مليون طن سنويًا.

513 مليون طن سنويًا

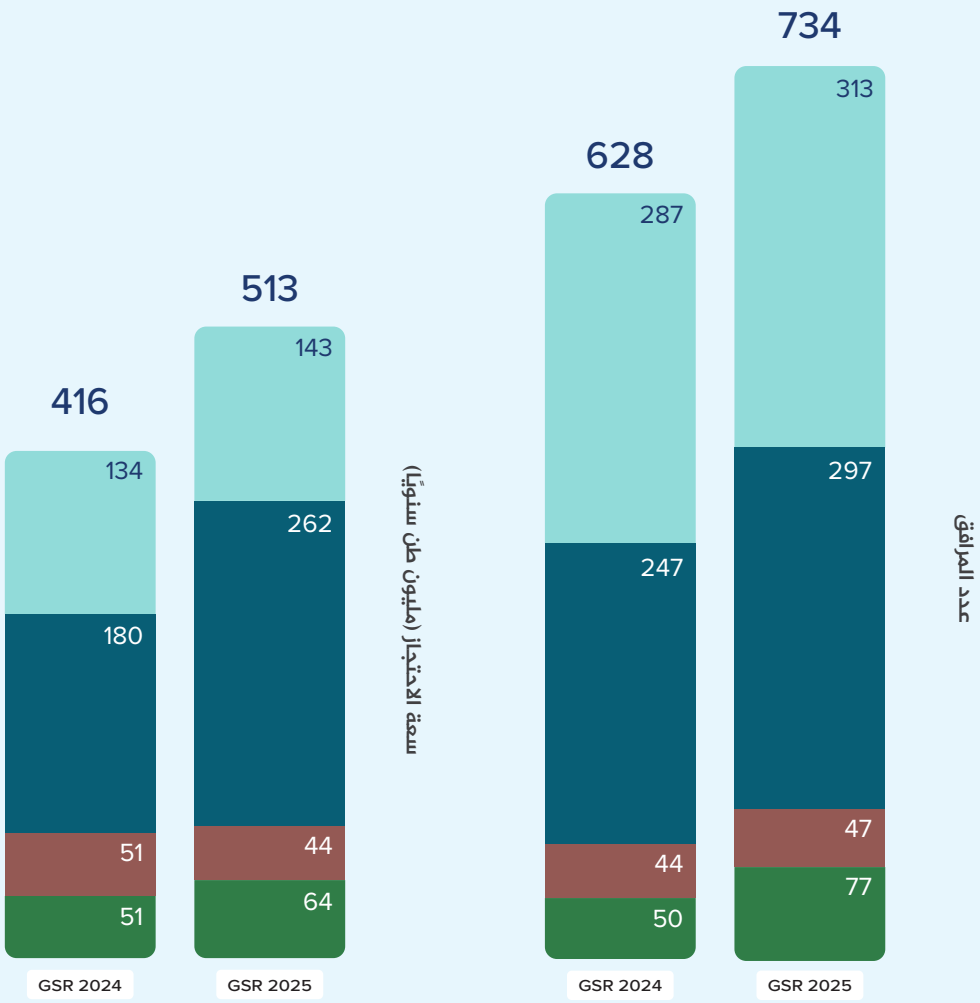
ارتفعت السعة الإجمالية بنسبة 23% على أساس سنوي.

44 مليون طن سنويًا

سعة الاحتجاز قيد الإنشاء في يوليو 2025.

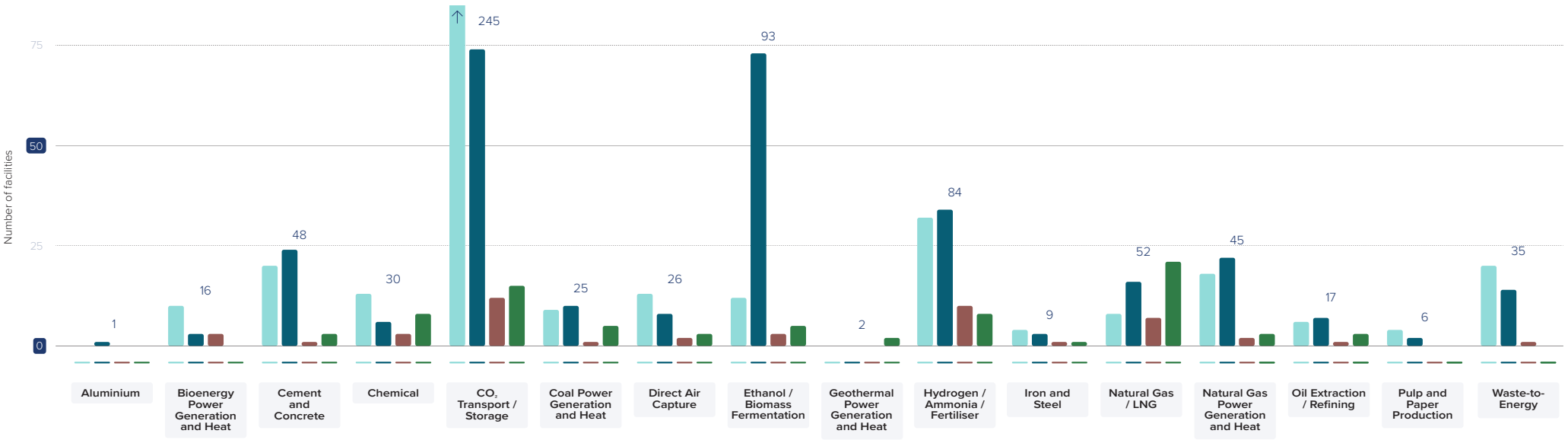
* آخر تحديث للبيانات بتاريخ يوليو 2025.

مرافق احتجاز الكربون وتخزينه التجارية بحسب العدد وإجمالي سعة الاحتجاز



يشهد الاستثمار في قطاع النقل والتخزين ارتفاعًا كبيرًا مع تطور نماذج الأعمال التجارية.

عدد المشاريع بحسب القطاع ومرحلة التطوير



النضج المالي يعزز ثقة المستثمرين.

يدخل قطاع إدارة الكربون مرحلة جديدة من النضج المالي في عام 2025، مع تزايد الاهتمام المستمر بقطاع نقل وتخزين ثاني أكسيد الكربون. وللمرة الأولى، نجحت مشاريع احتجاز الكربون وتخزينه في الحصول على تمويل دين مقيد بأصول المشروع (مثل مشروعي "صافي الانبعاثات الصفرية في تيسايد" و"شراكة نورثرن إنديورانس")، مدعومة بأطر سياسية فعالة واتفاقيات شراء الإنتاج. ويبرز هذا الإنجاز تزايد ثقة المقرضين، مدعومًا بوجود عقود موحّدة وحلول تأمينية ناشئة وهياكل تمويل مخصصة للمشاريع.

كما يتزايد دور رأس المال الخاص. ففي مايو 2025 دخلت شركة إيني في شراكة مع شركة جلوبال إنفراستراكشر بارتنرز لامتلاك أصول احتجاز الكربون وتخزينه بشكل مشترك في المملكة المتحدة وهولندا وإيطاليا، ما يشير إلى زيادة الاستثمار المؤسسي.

لقد وصلت عدة مشاريع مؤخرًا إلى مرحلة اتخاذ قرار الاستثمار النهائي أو الإغلاق المالي في أوروبا، ما يسلط الضوء على قائمة الانتظار المتنامية للمشاريع القابلة للتمويل في مختلف أنحاء المنطقة. ومن بين هذه المشاريع: مشروع نورثرن لايتس المرحلة الثانية في النرويج ومشروع هاينت نورث ويست الخاص بشركة إيني في المملكة المتحدة، ومشروع ستوكهولم إكسيرجي الخاص بالطاقة الحيوية مع احتجاز الكربون وتخزينه في السويد.

تتطور أسواق الكربون بالتوازي مع التطورات التمويلية والسياسية. تمثل اتفاقية الربط بين نظام تداول الانبعاثات في الاتحاد الأوروبي والمملكة المتحدة تجديدًا للتعاون الإقليمي، في حين تُنشئ الصفقة المبرمة بين النرويج وسويسرا بموجب المادة 6.2 أحد أوائل الأطر الخاصة بعمليات إزالة الكربون على المستوى الدولي.

كما يتوسع سوق الكربون الطوعي بسرعة، إذ زادت شركة مايكروسوفت مشترياتها المتعلقة بالطاقة الحيوية مع احتجاز الكربون وتخزينه من مشروع ستوكهولم إكسيرجي لتتجاوز 5 ملايين طن، في حين تدرس المفوضية الأوروبية إطلاق برنامج على مستوى الاتحاد الأوروبي لشراء خدمات إزالة ثاني أكسيد الكربون بهدف تعزيز الطلب المبكر على هذه التقنيات.

حالة المرفق	
مرحلة تطوير مبكرة	313
مرحلة تطوير متقدمة	297
قيد الإنشاء	47
قيد التشغيل	77
المجموع الكلي	734

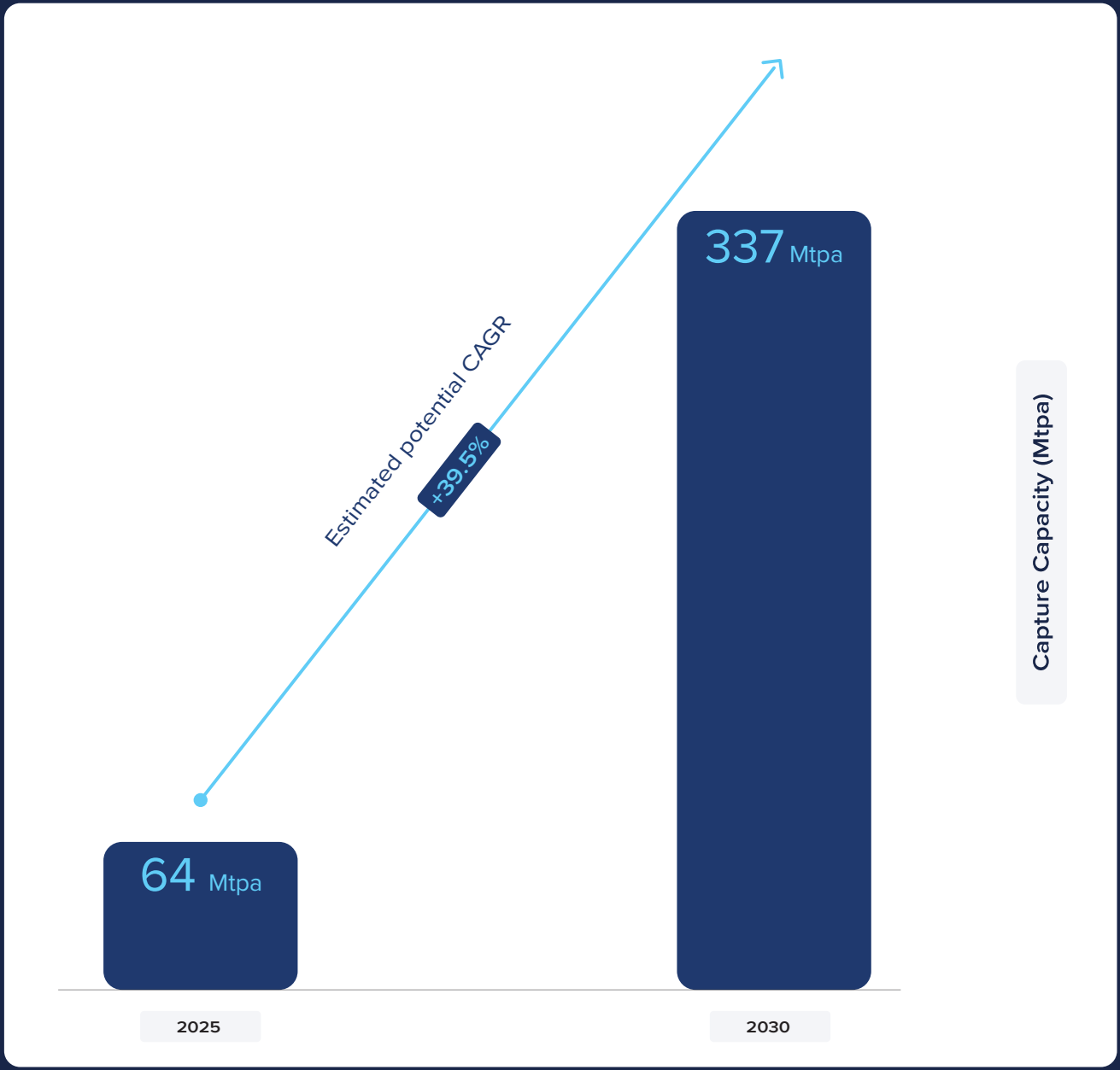
تستمر سعة احتجاز الكربون وتخزينه في التوسع والنمو حتى عام 2030.

من المتوقع أن ترتفع سعة احتجاز الكربون للمرافق العاملة عالميًا في عام 2030 بمقدار خمسة أضعاف مقارنة بعام 2025، وذلك استنادًا إلى قائمة انتظار مشاريع التطوير والإنشاء المسجّلة في قاعدة بيانات (CO_2RE) الخاصة بالمعهد.

وبالنظر إلى المشاريع التي لا تزال قيد التطوير حاليًا، يمكن أن ترتفع السعة التشغيلية الإجمالية إلى 337 مليون طن سنويًا في غضون السنوات الخمس القادمة، مقارنةً بسعة 64 مليون طن سنويًا في الوقت الحالي، مع معدل نمو سنوي مركب محتمل يبلغ ما يقرب من 40%.

عند احتساب المشاريع المخطَّط لها، أي المشاريع التي سيبدأ تشغيلها بعد عام 2030، يصل إجمالي السعة قيد التطوير إلى 513 مليون طن سنويًا. وعلى الرغم من أن هذا التقدّم مهم، إلا أنه لا يزال أقل بكثير من مستوى النشر المطلوب لتحقيق أهداف الاتفاقيات المتعلقة بالمناخ، ما يستلزم إضافة سعة أخرى للبدء بالتشغيل.

القدرة المحتملة لاحتجاز الكربون في الفترة ما بين 2025 و2030، استنادًا إلى قائمة الانتظار المُسجلة في قاعدة بيانات مشاريع (CO_2RE) الكاملة.



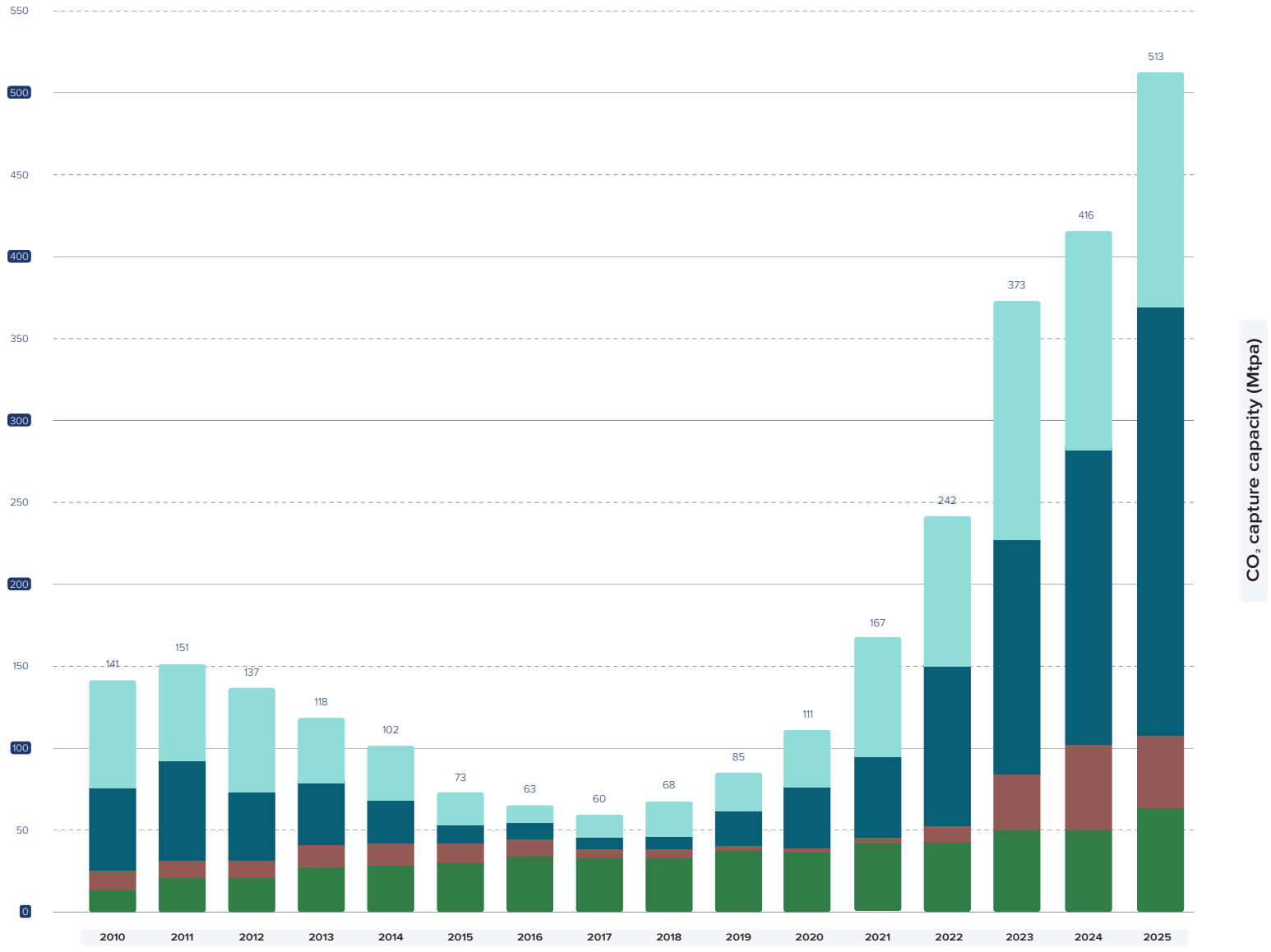
تتجه سعة الاحتجاز العالمية قيد التطوير نحو الارتفاع منذ عام 2017.

تستمر قائمة انتظار مشاريع احتجاز الكربون وتخزينه في النمو بوتيرة قوية، حيث يُمثل عام 2025 عامًا آخر من الزخم المتواصل؛ إذ بدأ تشغيل 27 مشروعًا، ودخل 30 مشروعًا آخر مرحلة الإنشاء منذ صدور تقرير الوضع العالمي لتقنيات احتجاز الكربون وتخزينه لعام 2024.

لقد ارتفع عدد مرافق احتجاز الكربون وتخزينه قيد التطوير مرةً أخرى بشكل كبير خلال العام الماضي، مع الدعم السياسي والمصالح التجارية وتنامي الاعتراف بتقنيات احتجاز الكربون وتخزينه باعتباره حل رئيس لمواجهة أثار تغيّر المناخ.

تستمر سعة احتجاز الكربون في الازدياد، مع نمو قوي عبر جميع مراحل التطوير. شهد إجمالي سعة الاحتجاز المخطط لها منذ عام 2017 معدل نمو سنوي مركب يبلغ أكثر من 30%، بينما استمرت في العام الماضي على هذا المسار التصاعدي.

سعة احتجاز ثاني أكسيد الكربون في مشاريع مرافق احتجاز الكربون وتخزينه التجارية قيد التطوير منذ عام 2010.



يشهد التوسع في جميع القطاعات تسارعًا ملحوظًا، بقيادة قطاع إنتاج الهيدروجين منخفض الانبعاثات الكربونية.

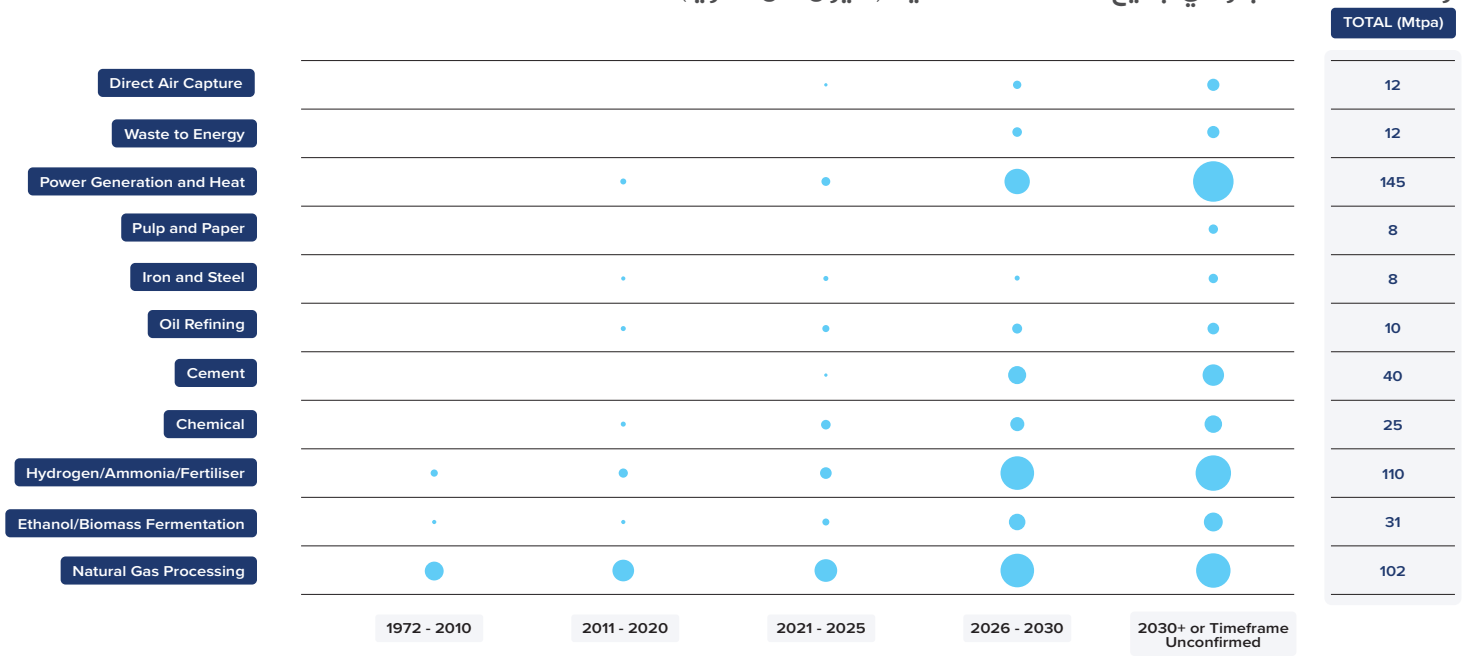
من المتوقع أن تشهد السعة التشغيلية لاحتجاز الكربون وتخزينه توسعًا كبيرًا يمتد إلى مجموعة متنوعة من القطاعات بحلول عام 2030. على الرغم من أن معالجة الغاز الطبيعي كانت الصناعة المهيمنة في نشر تقنية احتجاز الكربون وتخزينه منذ عام 1972، يُتوقع أن يتصدر قطاع إنتاج الهيدروجين منخفض الانبعاثات الكربونية والأمونيا المشهد بحلول عام 2030، مع إضافة سعة احتجاز وتخزين كربون تُقدَّر بأكثر من 100 مليون طن سنويًا، قبل أن يتفوق عليه لاحقًا قطاع توليد الطاقة والحرارة.

من المتوقع أيضًا حدوث توسع كبير في سعة احتجاز الكربون في قطاع توليد الطاقة والحرارة، على الرغم من أن الجدول الزمني للعديد من هذه المشاريع لم يُحدَّد بعد.

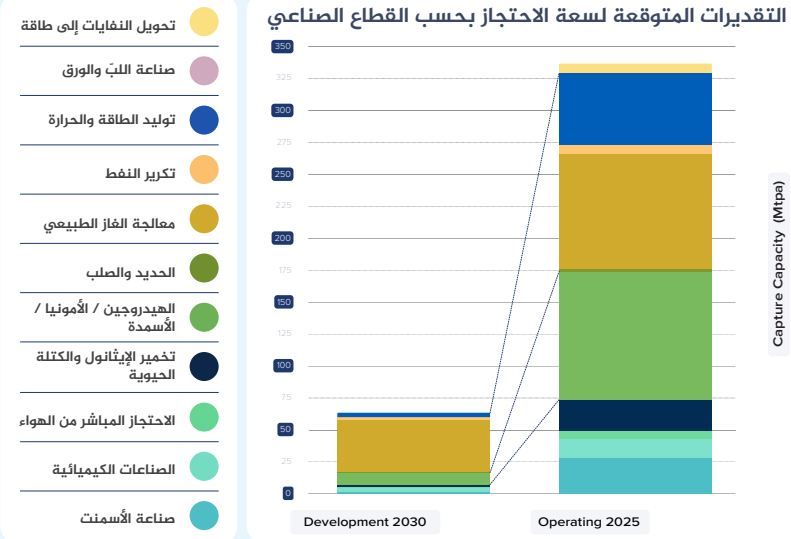
أُستبعِد المشاريع التي لم تدخل بعد مرحلة دراسة الجدوى أو التي لا تمتلك جدولًا زمنيًا مؤكدًا من التوقعات الإقليمية والصناعية لعام 2030.

من المتوقع أن تستمر أمريكا الشمالية، حسب المنطقة، في قيادة عملية تطوير تقنية احتجاز الكربون وتخزينه بحلول عام 2030، فيما يُتوقع أن يرفع الزخم القوي الذي تشهده أوروبا المنطقة إلى المرتبة الثانية من حيث سعة الاحتجاز، حيث ستنتقل من أقل من 3 ملايين طن سنويًا من السعة التشغيلية الحالية إلى تقديرات تتجاوز 90 مليون طن سنويًا في غضون خمس سنوات فقط.

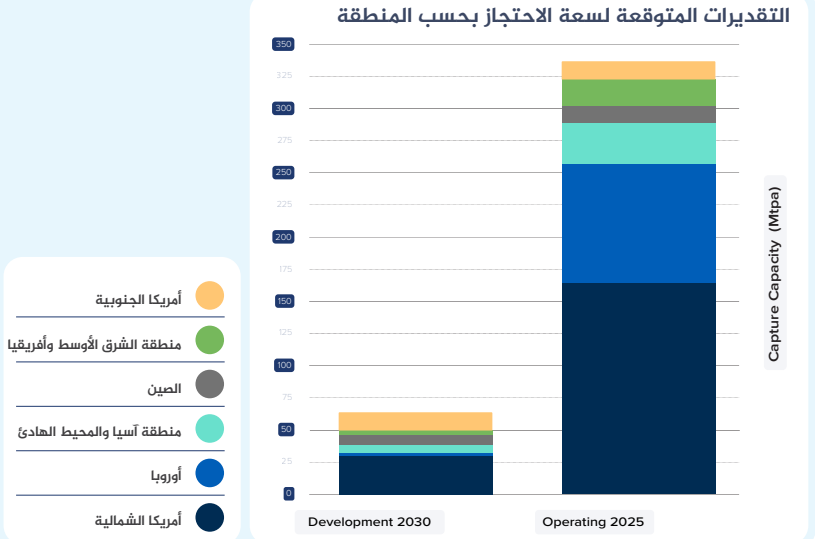
التقديرات المتوقعة لسعة الاحتجاز في جميع القطاعات الصناعية (مليون طن سنويًا).



التقديرات المتوقعة لسعة الاحتجاز بحسب القطاع الصناعي



التقديرات المتوقعة لسعة الاحتجاز بحسب المنطقة



تسليط الضوء على الوضع الإقليمي

2.0

الأمريكتان

تتطور تقنية احتجاز الكربون وتخزينه في جميع أنحاء المنطقة بمعدلات متفاوتة.

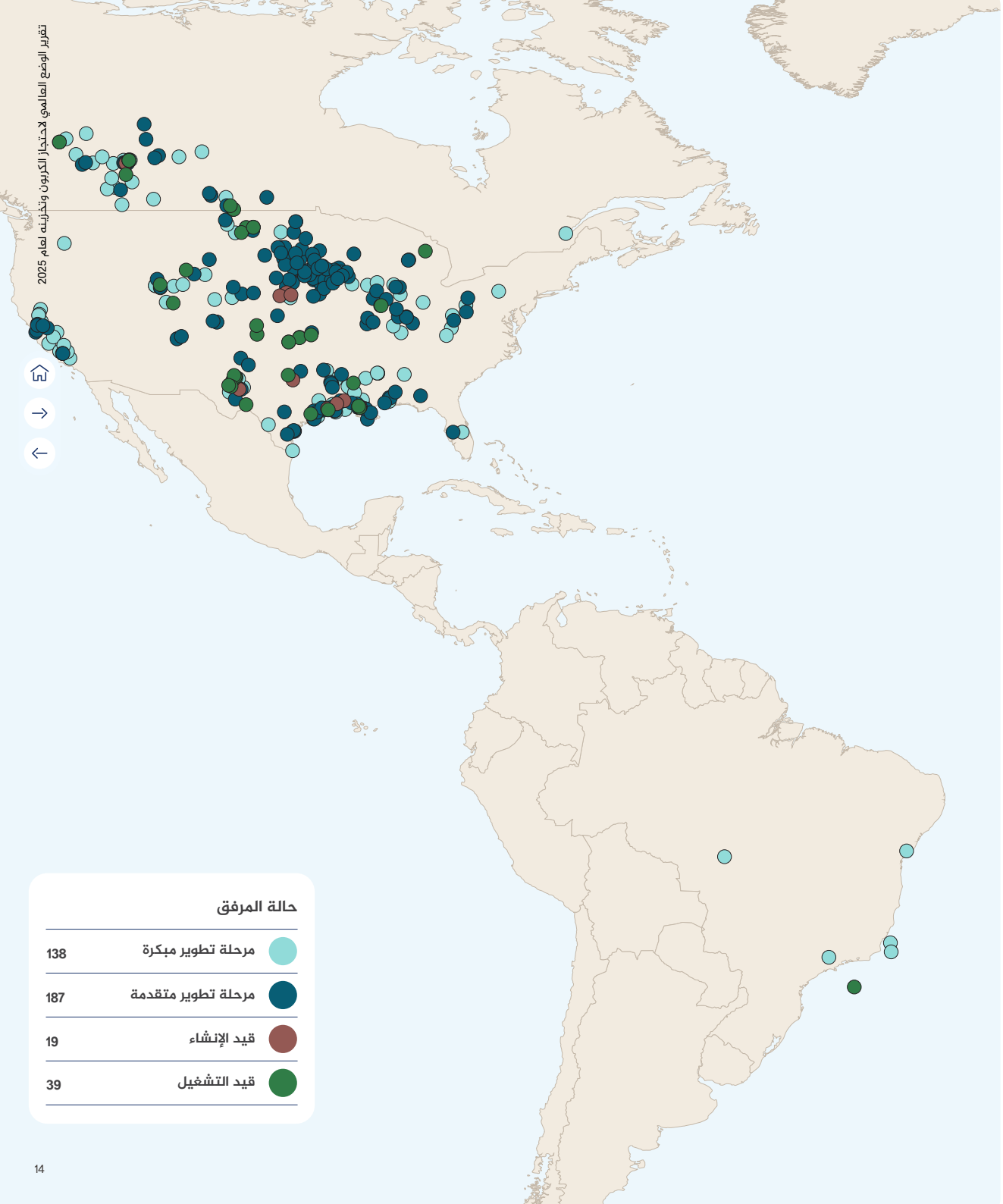
تواصل الولايات المتحدة وكندا دعم سياسات الائتمانات الضريبية، بينما تُحرز البرازيل، التي تتصدر دول أمريكا اللاتينية، تقدمًا إيجابيًا في وضع الأطر التنظيمية. لقد خزنت الأمريكتان ما يزيد عن 223 مليون طن من ثاني أكسيد الكربون منذ عام 2023، ويوجد حاليًا أكثر من 39 مشروعًا قيد التشغيل. ومن المتوقع أن يزداد هذا العدد مع مشاريع مقبلة، مثل بلو بوينت-لويزيانا (جيرا، 2025) وبي كيه في-جنوب تكساس (بي كيه في، 2025)، وصولًا إلى اتخاذ قرارات استثمارية نهائية.

الديناميكية - تختلف درجة الجاهزية ودعم السياسات والبنية الأساسية بشكل كبير في جميع أنحاء الأمريكتين، ومع ذلك تتجه المنطقة نحو تبني تقنية احتجاز الكربون وتخزينه. تتصدَّر الولايات المتحدة وكندا المشهد من سعيهما الحثيث لتطبيق السياسات الضريبية الداعمة وأنشطة منح التصاريح في أمريكا الشمالية، في حين تتصدَّر البرازيل مجال وضع الأسس التنظيمية في أمريكا اللاتينية.

النمو - يمكن لعمليات توليد الطاقة بالدورة المركّبة للغاز الطبيعي المزوّدة بأنظمة احتجاز الكربون وتخزينه أن توفّر قدرة كهربائية مستقرة ومنخفضة الكربون وذات تكلفة تنافسية، لتلبية متطلبات الطاقة والتقلبات الناتجة عن مراكز بيانات الذكاء الاصطناعي المستقبلية في مختلف أنحاء الأمريكتين، إلى جانب خلق فرص عمل وتوفير مزايا إقتصادية للحكومات المحلية.

الأساس - يوفر التخزين الجيولوجي مع الاستخلاص المعزز للنفط، الجاري تنفيذه حاليًا في الأمريكتين (البرازيل وكندا والولايات المتحدة)، نموذجًا اقتصاديًا قويًا لمشاريع احتجاز الكربون وتخزينه المبكرة، مع تطوير البنية التحتية اللازمة لنشرها على نطاق أوسع. تُعد بروتوكولات الرصد والإبلاغ والتحقق الفعَّالة جزءًا لا يتجزأ من هذه المشاريع لإثبات وضمان تخزين ثاني أكسيد الكربون بشكل دائم.

المحفزات - تعمل الحوافز المالية ونماذج الإيرادات الناشئة والتجارة العالمية على تسريع وتيرة نشر تقنية احتجاز الكربون وتخزينه على المدى القريب في الأمريكتين، حيث بدأت الشركات في الاستعداد للمساءلة عن الانبعاثات الكربونية المرتبطة بالتجارة المفروضة على الصادرات.



تُعدُّ مراكز البيانات المعتمدة على الذكاء الاصطناعي عاملًا رئيسيًا في زيادة الطلب على خدمات الطاقة الكهربائية. تدرس الشركات عملية تركيب محطات توليد طاقة جديدة لدعم مراكز البيانات في الأمريكتين. وحتى منتصف عام 2025، أُعلِن عمَّا لا يقل عن إحدى عشرة محطة طاقة تعمل بالغاز الطبيعي في الولايات المتحدة وكندا مرتبطة بمراكز البيانات، ومنها:

- ألبرتا وندر فالي: 1.4 جيجاواط (ألبرتا، 2025)
- بيسون لخدمات الذكاء الاصطناعي: 4.5 جيجاواط (جياكوبون، 2025)
- كلودبيرست: 1.2 جيجاواط (مركز بيانات كلودبيرست، 2025)
- إيدج كونيكس: 0.12 جيجاواط (إيدج كونيكس، 2025)
- المحرك رقم 1، شيفرون آند جي إي فيرنوفا: 4.0 جيجاواط (شيفرون، 2025)
- إكسون موبيل: 1.5 جيجاواط (جورج، 2024)
- فرونتير انفراستركشر: 0.27 جيجاواط (فرونتير انفراستركشر، 2025)
- هومر سيتي ريديفيلوبمينت وكيويت: 4.5 جيجاواط (هومر سيتي ريديفيلوبمينت، 2025)
- ميتا هايبريون: 5.0 جيجاواط (أختار، 2025)
- تولغراس-كروزو: 1.8 جيجاواط (جين، 2025)
- ويليامز سوكريتس: 0.4 جيجاواط (ويليامز، 2025 أ)

تضع شركات مثل ألفابت (بانيتييري، 2025) ومايكروسوفت (مايكروسوفت، 2025) أهدافًا طموحة جدًّا للوصول إلى صافي انبعاثات صفرية أو صافي انبعاثات سلبية بحلول عام 2030. ولتحقيق أهداف خفض الانبعاثات، تعمل دول رائدة مثل الولايات المتحدة وكندا والبرازيل على وضع سياسات داعمة وإثبات الجاهزية التكنولوجية وتقديم حوافز لمطوري المشاريع، وستساعد ريادتها ومشاركتها للدروس المستفادة الدول الصاعدة على تسريع وتيرة تقدمها في هذا المجال.

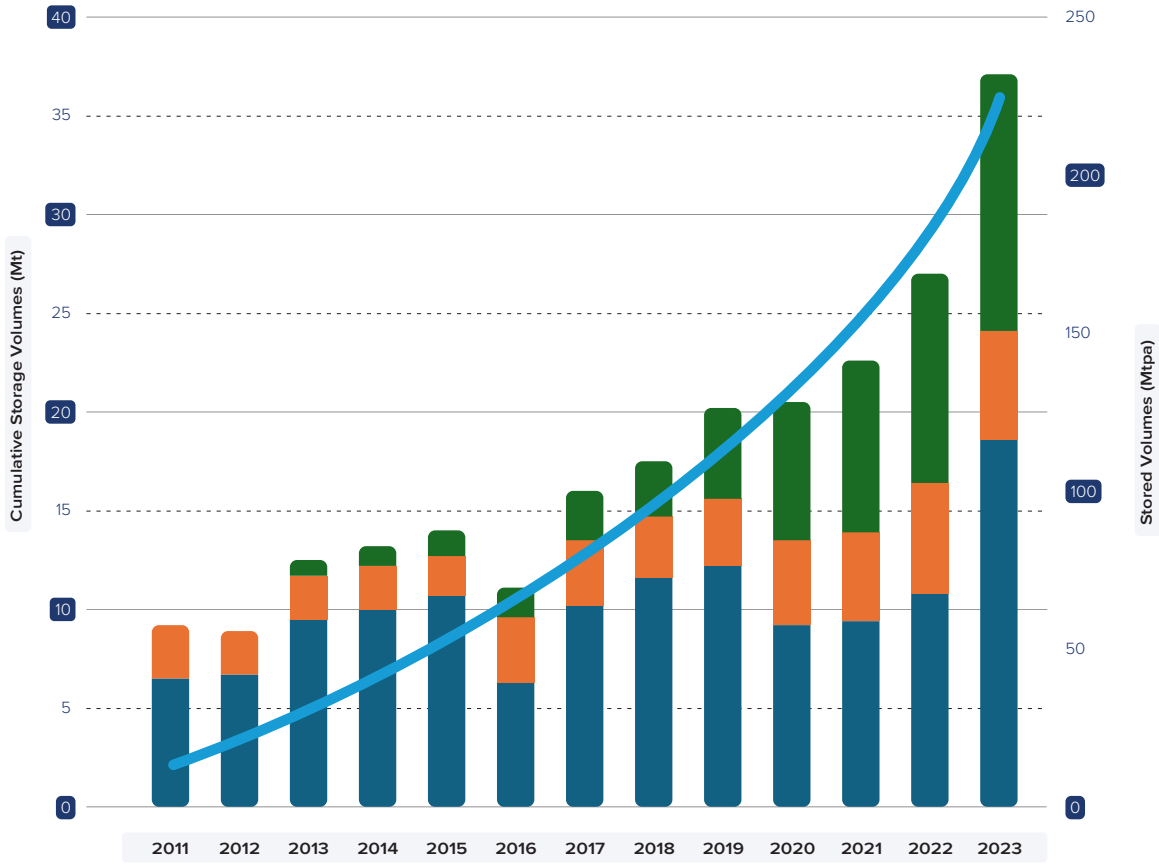
يمثل النمو الاقتصادي أولوية قصوى لكل من الحكومات الفيدرالية وحكومات الولايات. فاجتماع عوامل مثل الطلب على خدمات الطاقة الكهربائية القائمة على الذكاء الاصطناعي والبنية التحتية الجاهزة لتقنيات احتجاز الكربون وتخزينه والاستعداد التنظيمي على مستوى الولايات يخلق فرصة فريدة للولايات لتصبح جهة مستفيدة من الناحية الاقتصادية من طفرة الطاقة القائمة على الذكاء الاصطناعي. وقد يؤدي ذلك إلى توفير فرص عمل بالآلاف وتعزيز اقتصاد الولايات بشكل كبير.

على سبيل المثال، من المتوقع أن يوفر مرفق ميتا هايبريون في مقاطعة ريتشلاند بولاية لويزيانا حوالي 5,000 فرصة عمل خلال مرحلة الإنشاء، وأن يوفر 500 وظيفة دائمة و1,000 وظيفة غير مباشرة، وأن متوسّط رواتب العاملين سيفوق 150% من متوسط دخل الفرد في الولاية (لويزيانا للتجارة، 2025). من المتوقع أن تستفيد الولايات التي تتلقى استثمارات لتنفيذ مشاريع احتجاز الكربون وتخزينه من هذه الاستثمارات المباشرة والآثار غير المباشرة المرتبطة بها، ما يزيد من النشاط الاقتصادي وفرص العمل في تلك الولايات.

أجرى المعهد تحليلًا لإجمالي المزايا الاقتصادية المحتملة لولاية لويزيانا، استنادًا إلى تقديرات لمشاريع معلنة بقيمة 29.5 مليار دولار باستخدام نموذج جينزو الخاص بنا (ويليامز، 2025ب). وقد أشار تحليل المعهد إلى أن استثمارات البنية التحتية لإدارة الكربون التي تبلغ قيمتها 29.5 مليار دولار، بدعم من الائتمان بموجب المادة 45Q واستثمارات إضافية لاحقة في مشاريع احتجاز الكربون وتخزينه، يمكن أن تُحقق قيمة اقتصادية قدرها 90.2 مليار دولار لولاية لويزيانا على مدى العقدين المقبلين. وخلال الفترة نفسها، من المُقدَّر أن تدعم هذه الأنشطة ما يقرب من 120 ألف وظيفة مباشرة وغير مباشرة سنويًا، أي ما يعادل حوالي 2.4 مليون وظيفة على مدار 20 عامًا (لي وآخرون، 2022).

تخطط إدارة ترامب لسحب الولايات المتحدة من اتفاقية الأمم المتحدة الإطارية بشأن تغيّر المناخ بموجب الأمر التنفيذي "وضع أمريكا أولًا في الاتفاقيات البيئية الدولية" (البيت الأبيض، 2025)، كما تعمل على عكس السياسات المتعلقة بالمناخ التي تتبعها إدارة بايدن.

كميات ثاني أكسيد الكربون المخزنة في منطقة الأمريكتين



المصدر: المعهد العالمي لاحتجاز الكربون وتخزينه، باستخدام أفضل البيانات العامة المتاحة.

السياسة

لقد أثرت الانتخابات الوطنية على سياسات احتجاز الكربون وتخزينه، أما انتخاب مارك كارني مؤخرًا رئيسًا لوزراء كندا فيشير إلى استمرار دعم الحكومة الفيدرالية لتقنيات احتجاز الكربون وتخزينه. وكان من أوائل الإجراءات التي اتخذها الحزب تمديد الائتمان الضريبي لتقنيات احتجاز الكربون واستخدامه وتخزينه حتى عام 2035 (ميرشانت، 2025). إضافة إلى ذلك، أعلنت الحكومة الكندية عن الاستثمار في برنامج دعم الابتكار في الطاقة بمبلغ يزيد عن 14 مليون دولار (ميرشانت، 2025)، والاستمرار في دعم مشاريع الطاقة النظيفة بمبلغ 21.5 مليون دولار في ألبرتا (الموارد الطبيعية في كندا، 2025)، والعمل على تحرير الصيغة النهائية لبروتوكول التحديد الكمي للاحتجاز المباشر من الهواء (المركز الدولي لمعرفة تقنيات احتجاز الكربون وتخزينه، 2024). ومن المتوقع صدور قرار الاستثمار النهائي لمشروع تحالف باثواي لاحتجاز الكربون وتخزينه في الرمال النفطية في عام 2025 (كندا ناتشورال نيابة عن تحالف باثواي، 2024).

في الولايات المتحدة، قد تؤدي بعض حالات عدم اليقين والمؤشرات المتضاربة إلى الحد من نشر تقنية احتجاز الكربون وتخزينه. تخطط إدارة ترامب لسحب الولايات المتحدة من اتفاقية الأمم المتحدة الإطارية بشأن تغيّر المناخ بموجب الأمر التنفيذي "وضع أمريكا أولًا في الاتفاقيات البيئية الدولية" (البيت الأبيض، 2025)، كما تعمل على عكس السياسات المتعلقة بالمناخ التي تتبعها إدارة بايدن. في أواخر الربيع، أعلنت وزارة الطاقة الأمريكية عن إنهاء 24 مشروعًا، منها مشاريع احتجاز الكربون وتخزينه ومبادرات تخفيض الانبعاثات الكربونية، بإجمالي 3.7 مليار دولار (وزارة الطاقة، 2025)، كما اقترحت وكالة حماية البيئة إلغاء جميع معايير انبعاثات الغازات الدفيئة الخاصة بمحطات الطاقة العاملة بالوقود الأحفوري (وكالة حماية البيئة، 2025). ومع ذلك، يستمر الكونغرس الأمريكي في دعم الائتمانات الضريبية بموجب المادة 45Q (المعهد العالمي لاحتجاز الكربون وتخزينه، 2025)، وقد رفع مؤخرًا قيمة الائتمان للاستفادة من ثاني أكسيد الكربون وتخزينه الجيولوجي مع الاستخلاص المعزز.

تواصل كل ولاية على حدة عملية سنّ تشريعات لدعم تطوير تقنيات احتجاز الكربون وتخزينه، وقد أحرزت العديد منها تقدمًا في تطوير أطرها التنظيمية. وعندما تُصدِر الولايات التشريعات بشكل استباقي، فإنها ترسل مؤشرات إيجابية للقطاع بشأن جاهزيتها التنظيمية لمشاريع احتجاز الكربون وتخزينه، ما قد يجذب مراكز البيانات المعتمدة على الذكاء الاصطناعي وغيرها من القطاعات إلى تلك الولايات، وبالتالي يزيد من تحفيز النمو الاقتصادي.

في عام 2025، أصدرت 12 ولاية 24 قانونًا تشريعيًا متعلقًا بإدارة الكربون، وكانت لويزيانا في طليعة هذه الولايات. ومُنحت أربع ولايات (لويزيانا وداكوتا الشمالية وفرجينيا الغربية وايومنغ) سلطة إصدار تصاريح حقن ثاني أكسيد الكربون، فيما تنتظر ولايتان إضافيتان (أريزونا وتكساس) الموافقة النهائية في عام 2025 (نظام التحكم في الحقن تحت الأرض الخاص بوكالة حماية البيئة الأمريكية، 2025).

تواصل البرازيل ريادتها في مشاريع احتجاز الكربون وتخزينه في أمريكا اللاتينية، وستستضيف الدورة الثلاثون لمؤتمر الأطراف (COP30). وقد برزت البرازيل كدولة رائدة في هذه المشاريع من خلال قانون "وقود المستقبل" (البرازيل، 2024أ) وتقديم نظام تداول انبعاثات الغازات الدفيئة البرازيلي (البرازيل، 2024ب). ومن خلال سنّ هذه السياسات، تواصل البرازيل التقدم في مشاريع احتجاز الكربون وتخزينه، مستندة إلى الإجراءات التنظيمية والاستثمارات التي قامت بها شركة النفط الحكومية بتروبراس. وبفضل الريادة البرازيلية وخبرة بتروبراس، يمكن تسريع وتيرة نشر تقنية احتجاز الكربون وتخزينه في دول أمريكا اللاتينية الأخرى.

أنهى نظام تداول الانبعاثات التجريبي في المكسيك (المكسيك، 2025) مرحلته التجريبية وكان من المقرر أن يدخل المرحلة التشغيلية في عام 2025. ومع ذلك، لم تُنشَر اللوائح الخاصة بهذه المرحلة حتى إعداد هذا التقرير. كما توجد مؤشرات على استمرار التقدم في دول أمريكا اللاتينية الأخرى، ويتضح ذلك من خلال الحوارات الإقليمية حول تسعير الكربون التي تهدف إلى تقييم السياسات وأدوات تسعير الكربون بما يتوافق مع المساهمات المحددة وطنيًا لكل دولة من دول أمريكا اللاتينية.

للاطلاع على المزيد

مشروع تحالف باثواي لاحتجاز الكربون وتخزينه في الرمال النفطية

للاطلاع على المزيد

دراسة الحالة: تُعد الإجراءات التنظيمية التي اتخذتها البرازيل واستثمارات شركة بتروبراس هي المحفز الرئيسي لتطبيق تقنية احتجاز الكربون وتخزينه في أمريكا اللاتينية

تشريعات الولايات المتحدة

الولاية	التشريع	
أركنساس	مشروع قانون مجلس النواب رقم 1411	توضيح لائحة احتجاز الكربون وتخزينه وإنشاء صندوق لتمويل مشاريع تخزين ثاني أكسيد الكربون
	مشروع قانون مجلس النواب رقم 1412	توضيح لائحة تصاريح سلامة خطوط الأنابيب لنقل السوائل الخطرة أو ثاني أكسيد الكربون
كولورادو	مشروع قانون مجلس النواب رقم 1165-25	مؤسسة التخزين الجيولوجي وموارد الطاقة الحرارية الأرضية
	مشروع قانون مجلس الشيوخ رقم 307-25	الصندوق النقدي لإدارة الاعتمادات الضريبية على خفض الانبعاثات الكربونية
إلينوي	مشروع قانون مجلس الشيوخ رقم 1723	مصدر المياه الجوفية الوحيد التابع لوكالة حماية البيئة
	مشروع قانون مجلس الشيوخ رقم 1697	التعويضات الخاصة بمشاريع احتجاز الكربون
إنديانا	مشروع قانون مجلس النواب رقم 1001	ميزانية الدولة - تمويل برنامج مشاريع تخزين الكربون وصندوق ائتمان خطوط أنابيب ومرافق ثاني أكسيد الكربون
	مشروع قانون مجلس الشيوخ رقم 457	تخزين ثاني أكسيد الكربون
لويزيانا	مشروع قانون مجلس النواب رقم 2	النفقات الرأسمالية: توفر تصريح البئر رقم 3 لمختبر جامعة ولاية لويزيانا للبحث والتدريب والاختبار في هندسة البترول
	مشروع قانون مجلس النواب رقم 304	الدعاوى المدنية ومكان التقاضي: تُحدّد أماكن التقاضي في الدعاوى المتعلقة بنزع الملكية لأغراض مشاريع احتجاز الكربون
	مشروع قانون مجلس النواب رقم 548	الطاقة: تُخصّص إيرادات تخزين ثاني أكسيد الكربون على أراضي الدولة وقاع المياه
	مشروع قانون مجلس النواب رقم 691	الطاقة: يضع إجراءات السلامة العامة والمسؤولية القانونية الخاصة بتخزين ثاني أكسيد الكربون
	مشروع قانون مجلس الشيوخ رقم 36	المعادن: يوفّر أحكام خاصة بتخزين الكربون
	مشروع قانون مجلس الشيوخ رقم 73	مراقبة البيئة: يوفّر أحكام خاصة بتخزين ثاني أكسيد الكربون
	مشروع قانون مجلس الشيوخ رقم 244	إدارة الموارد الطبيعية: يوفّر أحكام خاصة بوزارة الطاقة والموارد الطبيعية
نيو مكسيكو	مشروع قانون مجلس النواب رقم 458	قانون إدارة تخزين ثاني أكسيد الكربون
داكوتا الشمالية	القرار المشترك لمجلس النواب رقم 3016	الإقرار بفوائد الاستخلاص المعزز للنفط والحفاظ على السياسات الخاصة بتطوير تقنية احتجاز الكربون واستخدامه
	مشروع قانون مجلس الشيوخ رقم 2333	الوقود منخفض الانبعاثات الكربونية
أوكلاهوما	مشروع قانون مجلس الشيوخ رقم 269	قانون متعلق بتخزين الكربون
داكوتا الجنوبية	مشروع قانون مجلس النواب رقم 1052	قانون يحظر الاستملاك القسري لخط أنابيب ينقل ثاني أكسيد الكربون
يوتاه	مشروع قانون مجلس النواب رقم 352	تعديلات على قانون التخزين الجيولوجي للكربون
	القرار المشترك لمجلس النواب رقم 9	إبرام اتفاقية على مستوى الولايات من أجل التعاون الإقليمي في مجال الطاقة بين يوتاه ووايومنغ وإيداهو
فرجينيا الغربية	مشروع قانون مجلس الشيوخ رقم 627	إلغاء الحظر المفروض على تأجير الفراغات المسامية تحت الأراضي المملوكة للدولة المخصصة للمتنزهات العامة
وايومنغ	ملف مجلس الشيوخ رقم 17	برنامج تحفيز الاستخلاص المعزز للنفط باستخدام ثاني أكسيد الكربون

التمويل

يمكن للعوامل المالية ومصادر القيمة المبتكرة والمتطلبات التجارية أن تسرّع من وتيرة نشر تقنيات احتجاز الكربون وتخزينه على المدى القريب. إن الإقرار الأخير للقانون الأمريكي المعروف باسم "Big Beautiful Bill Act" قد عزّز الائتمان الضريبي بموجب المادة 45Q المتعلق بالتخزين الجيولوجي باستخدام الاستخلاص المعزز. ومن شأن هذا الحافز المالي المتزايد أن يوفر مصدر إيرادات إضافي لنماذج الأعمال، ويسهم في تطوير البنية التحتية المستقبلية لنقل ثاني أكسيد الكربون.

تُعدّ أسواق الكربون الطوعية و"الأقساط الخضراء" المحتملة (بريكثرو إنرجي، 2022) من الطرق الأخرى لتعويض النفقات الرأسمالية والتشغيلية. وسيساعد ذلك الشركات على تحقيق أهدافها في خفض الانبعاثات والمساهمة في تمويل المشاريع الحالية والمستقبلية.

قد تؤثر متطلبات تداول الكربون العالمية على الواردات المستقبلية إلى الاتحاد الأوروبي من خلال آلية تعديل حدود الكربون (المفوضية الأوروبية، 2024) التي تُلزم الدول غير الأعضاء في الاتحاد الأوروبي بتقديم بيانات حول الانبعاثات الكربونية المضمّنة في المنتجات التي تُباع داخل الاتحاد.

فعلى سبيل المثال، قد تؤدي هذه الآلية إلى زيادة تكاليف استيراد الأمونيا المنتجة دون استخدام تقنيات احتجاز الكربون وتخزينه نظرًا إلى ارتفاع كثافتها الكربونية، وعلى الرغم من أن الغاز الطبيعي المسال غير مشمول في نطاق هذه الآلية حاليًا، فقد تظهر تأثيرات غير مباشرة إذا استُخدِم الغاز الطبيعي المسال كمادة خام لإنتاج الأمونيا.

من المتوقع أن يتوسع نطاق آلية تعديل حدود الكربون بحلول عام 2030، ومن المرجح أن تشمل المنتجات المحتمل إدراجها المواد الكيميائية والبوليمرات والبلاستيك ومشاريع تكرير النفط. سيؤدي التأثير الإجمالي لذلك إلى ارتفاع التكاليف على الواردات التي لا تخفض كثافتها الكربونية للوفاء بمتطلبات التجارة الجديدة هذه.

للاطلاع على المزيد

التخزين الجيولوجي المصحوب بالاستخلاص المعزز

تعديلات على الائتمانات الضريبية بموجب المادة 45Q - القانون الكبير الجميل (2025)

الميزة	قانون الحد من التضخم (2022)	القانون الكبير الجميل (2025)
قيمة الائتمان (لكل طن)	• 85 دولار أمريكي: مصدر مُحدّد ← التخزين الجيولوجي • 180 دولار أمريكي: الاحتجاز المباشر من الهواء ← التخزين الجيولوجي • 60 دولار أمريكي: مصدر مُحدّد ← الاستخدام / التخزين الجيولوجي المصحوب بالاستخلاص المعزز • 130 دولار أمريكي: الاحتجاز المباشر من الهواء ← الاستخدام / التخزين الجيولوجي المصحوب بالاستخلاص المعزز	• 85 دولار أمريكي: مصدر مُحدّد ← التخزين الجيولوجي • 180 دولار أمريكي: الاحتجاز المباشر من الهواء ← التخزين الجيولوجي • 85 دولار أمريكي: مصدر مُحدّد ← الاستخدام / التخزين الجيولوجي المصحوب بالاستخلاص المعزز • 180 دولار أمريكي: الاحتجاز المباشر من الهواء ← الاستخدام / التخزين الجيولوجي المصحوب بالاستخلاص المعزز
إمكانية النقل	مسموح بها منذ عام 2023	مسموح بها منذ عام 2023
التعديل بحسب معدل التضخم	يبدأ في عام 2027، مع اعتبار عام 2025 سنة الأساس للمؤشر	يبدأ في عام 2027، مع اعتبار عام 2025 سنة الأساس للمؤشر
القيود المفروضة على الكيانات الأجنبية المثيرة للمخاوف	لا ينطبق	قيود جديدة

يحافظ مشروع القانون على الائتمان الضريبي بموجب المادة 45Q عند 85 دولارًا للطن للاحتجاز من المصدر المُحدّد و180 دولارًا للطن لتقنية الاحتجاز المباشر من الهواء في مواقع التخزين الجيولوجي المخصصة. كما يحافظ القانون على قابلية النقل ويجعل تاريخ التعديل بحسب مُعدّل التضخم في عام 2027 مع اعتبار عام 2025 سنة الأساس للمؤشر. كما يتضمن القانون مبدأ المساواة في قيمة الائتمان الضريبي على عمليات استخدام ثاني أكسيد الكربون. في إطار مشروع القانون الجديد، سيُؤهّل ثاني أكسيد الكربون، سواء المُستخدم أو المحوّل إلى منتجات قيّمة أو المحقون والمخزّن جيولوجيًا في موقع مشروع مؤهل للاستخلاص المعزز للنفط أو الغاز الطبيعي، للحصول على نفس القيمة الدولارية للائتمان التي يحصل عليها ثاني أكسيد الكربون المُخزن بشكل دائم في موقع تخزين جيولوجي مخصص. ويفرض مشروع القانون أيضًا قيودًا جديدة على الكيانات الأجنبية المثيرة للقلق.

شركة إيرهايف الكندية للاحتجاز المباشر من الهواء، الصورة مُقدّمة بإذن من إيرهايف.

دراسة الحالة: مراكز البيانات الأمريكية

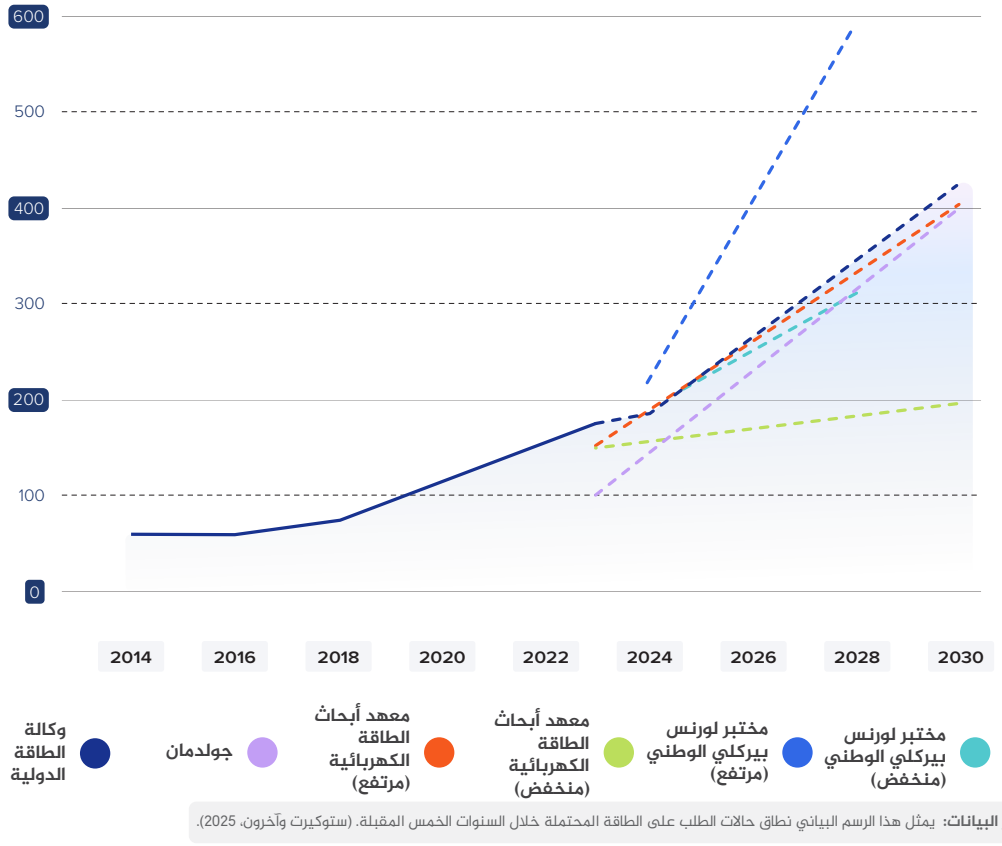
من المتوقع أن تُضاف سعة جديدة تبلغ 55 جيجاواط من مراكز البيانات الأمريكية بين عامي 2025 و2030، مع توقع أن تتضمن حوالي 30% من هذه المرافق مصادر طاقة خاصة بها (بلوم إنرجي، 2025).

للأسف، لم يواكب نظام الشبكة الكهربائية هذا التوسع، مما أدى إلى ظهور اختناقات في البنية التحتية للنقل والتوزيع. وتسبَّب ذلك في التأخُّر في توصيل الشبكة وارتفاع تكاليف خدماتها. تدفع الزيادة السريعة في الطلب مقابل بطء استجابة سعة الشبكة إلى الحاجة لمزيد من حلول توليد الطاقة في الموقع خلف العداد (داخل المرفق). أن يكون توليد الطاقة موثوقًا وفعالًا من حيث التكلفة ومنخفض الانبعاثات وقادرًا على توفير المرونة لإدارة الأحمال الكهربائية المتغيرة.

ويرجع ذلك لتسبُب عملية تدريب نماذج الذكاء الاصطناعي في حدوث تقلبات كبيرة وسريعة أو زيادات مفاجئة في الطلب على الطاقة (أونتيفيروس وآخرون، 2025).

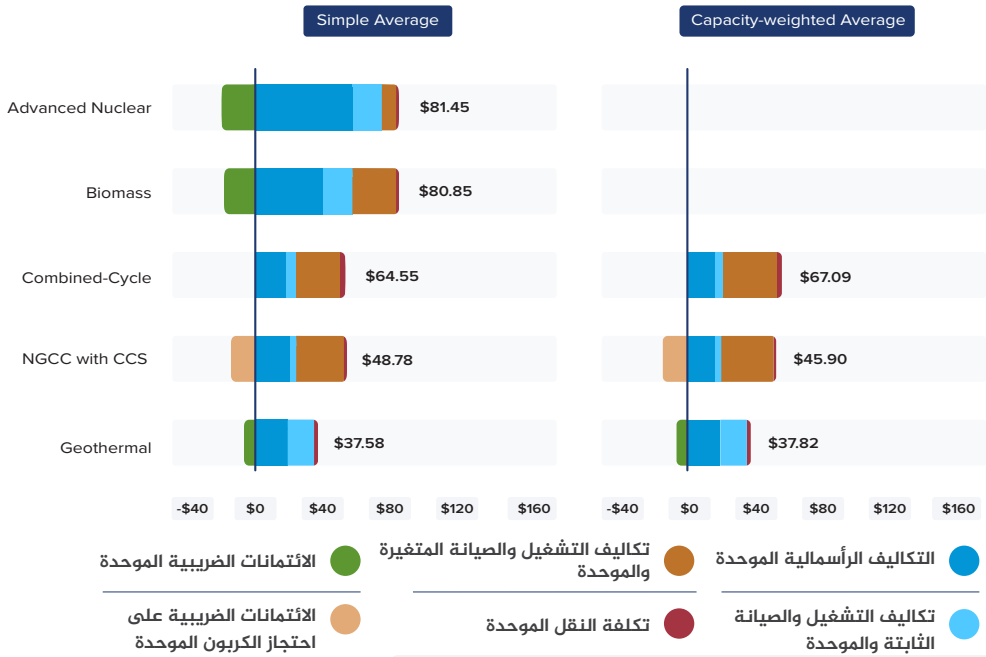
من المتوقع أن تصل احتياجات مراكز البيانات التي تستضيف عمليات تدريب واسعة النطاق إلى 1 جيجاواط في موقع واحد بحلول عام 2028 و8 جيجاواط بحلول عام 2030 (بيلز وآخرون، 2025). ويجري حاليًا دراسة عملية استخدام تقنية الدورة المركبة بالغاز الطبيعي مع تقنية احتجاز الكربون وتخزينه والمفاعلات المعيارية الصغيرة والطاقة الحرارية الأرضية لتلبية النمو المتزايد في الأحمال وتقلباتها.

توقعات الطلب على الطاقة في مراكز البيانات الأمريكية حتى عام 2030



مصدر البيانات: يمثل هذا الرسم البياني نطاق حالات الطلب على الطاقة المحتملة خلال السنوات الخمس المقبلة. (ستوكيرت وآخرون، 2025).

التكاليف الموحدة لتقنيات توليد الطاقة المرنة في الولايات المتحدة



مصدر البيانات: توقعات إدارة معلومات الطاقة الأمريكية، التوقعات السنوية لقطاع الطاقة 2025.

هل يمكن أن تكون محطات الدورة المركبة بالغاز الطبيعي المزوّدة بتقنية احتجاز الكربون وتخزينه هي الحل؟

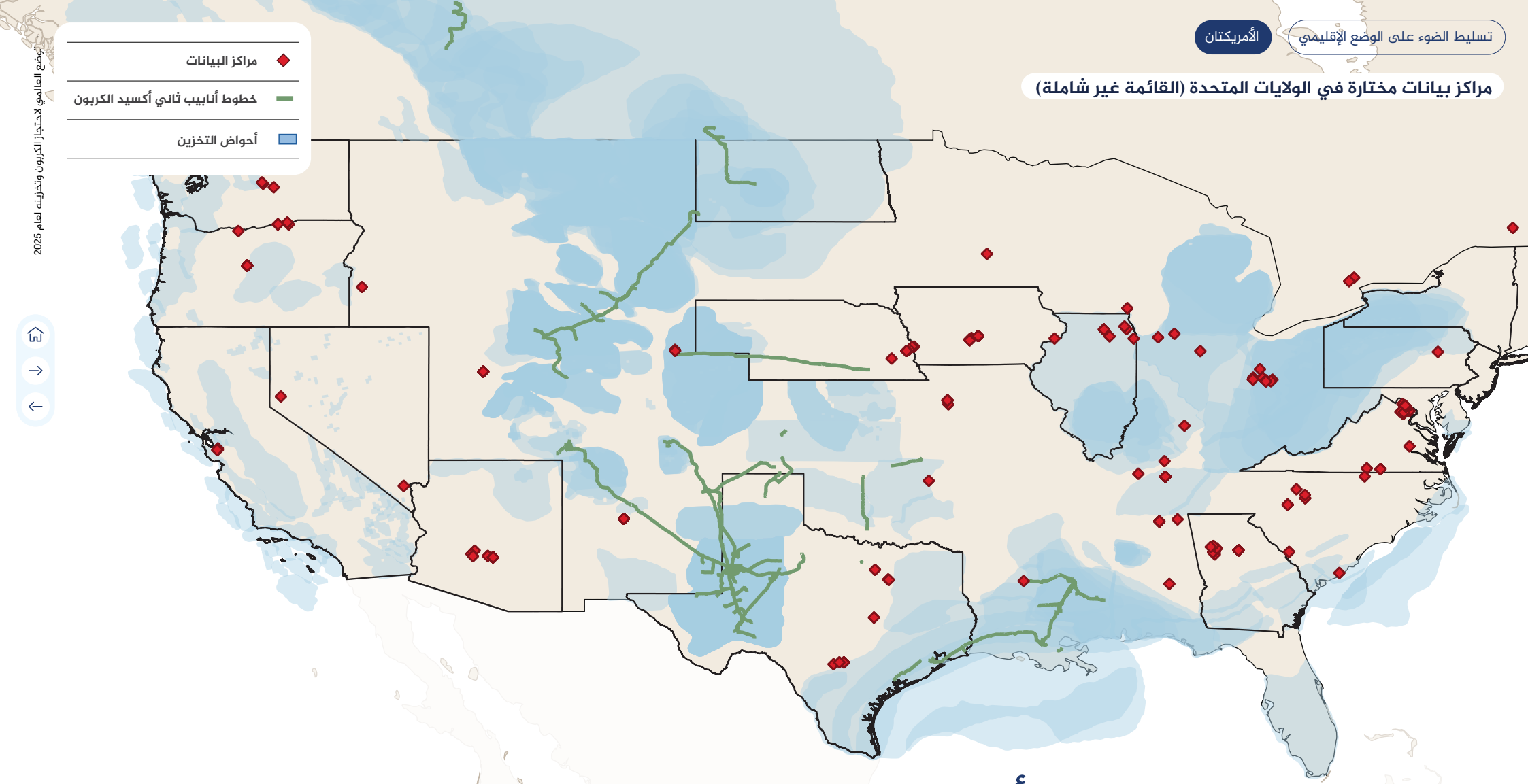
تتطلب مراكز البيانات مصادر طاقة مرنة على مدار الساعة وطوال أيام الأسبوع. وقد نشرت إدارة معلومات الطاقة الأمريكية بيانات التكاليف الموحدة لتقنيات توليد الطاقة القابلة للتشغيل عند الطلب في الولايات المتحدة على النحو الموضح في الشكل أعلاه (إدارة معلومات الطاقة، 2025). بناءً على متوسط التكلفة البسيط لكل ميجاواط ساعي ومتوسط التكلفة المرجَّح بحسب السعة، تُعد محطات الدورة المركبة بالغاز الطبيعي المزودة بتقنية احتجاز الكربون وتخزينه ثاني أقل الخيارات تكلفة، فهي أقل تكلفة من الطاقة النووية والكتلة الحيوية وحتى من محطات توليد الطاقة بالغاز الطبيعي التقليدية عند احتساب الائتمانات الضريبية.

على الرغم من أن الطاقة الحرارية الأرضية أقل تكلفة، إلا أن مواقع مراكز البيانات قد تكون مقيّدة بمواقع مواردها، أو قد تضطر إلى الاعتماد على شبكات كهرباء محدودة القدرة للغاية لنقل تلك الطاقة إلى مراكز البيانات.

أما محطات الدورة المركبة بالغاز الطبيعي المزوّدة بتقنية احتجاز الكربون وتخزينه فلن تواجه هذه القيود، إذ يمكن إنشاؤها بالقرب من مركز البيانات وخلف العداد، ما يوفر طاقة مخصصة لمركز البيانات.

كما تُعد سرعة النشر عاملًا أساسيًا في ظل النمو السريع في الطلب على خدمات مراكز البيانات. تُمكّن محطات الدورة المركبة بالغاز الطبيعي المزوّدة بتقنيات احتجاز الكربون وتخزينه من نشر توليد الطاقة المحلية بسرعة أكبر وبتكلفة معقولة، فضلًا عن القدرة على إزالة الكربون منها باستخدام تقنيات احتجاز ثاني أكسيد الكربون وتخزينه مع توفر البنية التحتية اللازمة لنقل ثاني أكسيد الكربون بشكل أكبر.

مراكز بيانات مختارة في الولايات المتحدة (القائمة غير شاملة)



دراسة الحالة: مراكز البيانات الأمريكية (تتمة)

الأهمية القصوى لاختيار الموقع

نظرًا للقيود الحالية على سعة نقل الطاقة في الشبكة، يمكن لمحطات الدورة المركبة بالغاز الطبيعي الموجودة في الموقع في الأمريكتين تزويد مراكز البيانات بعمليات توليد طاقة موثوقة ومستدامة لتلبية الطلب على الطاقة. إضافة إلى ذلك، يمكن لمحطات الدورة المركبة بالغاز الطبيعي أيضًا تزويد الشبكة بالطاقة عند الحاجة والحصول على ائتمان مقابل مساهماتها. تتطلب مواقع مراكز البيانات مجموعة من العوامل الرئيسية المحددة، وفي عام 2023، استحوذت 15 ولاية على ما يقرب من 80% من إجمالي الطاقة المستخدمة في مراكز البيانات (الجبور وآخرون، 2024).

يشير الإعلان الأخير عن إنشاء مركز بيانات جديد للذكاء الاصطناعي في ولاية وايومنغ، يعمل بالغاز الطبيعي ويستخدم تقنية احتجاز الكربون وتخزينه إلى زيادة إدراك القطاع بقيمة توليد الطاقة من الغاز الطبيعي باستخدام هذه التقنية (جيين، 2025). ومن المتوقع أن يستهلك هذا المشروع كمية من الطاقة الكهربائية تزيد عن إجمالي الطلب في ولاية وايومنغ بأكملها، ليصل الاستهلاك إلى أضعاف ذلك بمرور الوقت (غروفر آند أوبراين، 2025)، مما يُثبت قدرة محطات الدورة المركبة بالغاز الطبيعي المزوّدة بتقنيات احتجاز الكربون وتخزينه على تجنّب الحاجة إلى إنشاء بنية تحتية واسعة النطاق شبكات الكهرباء.

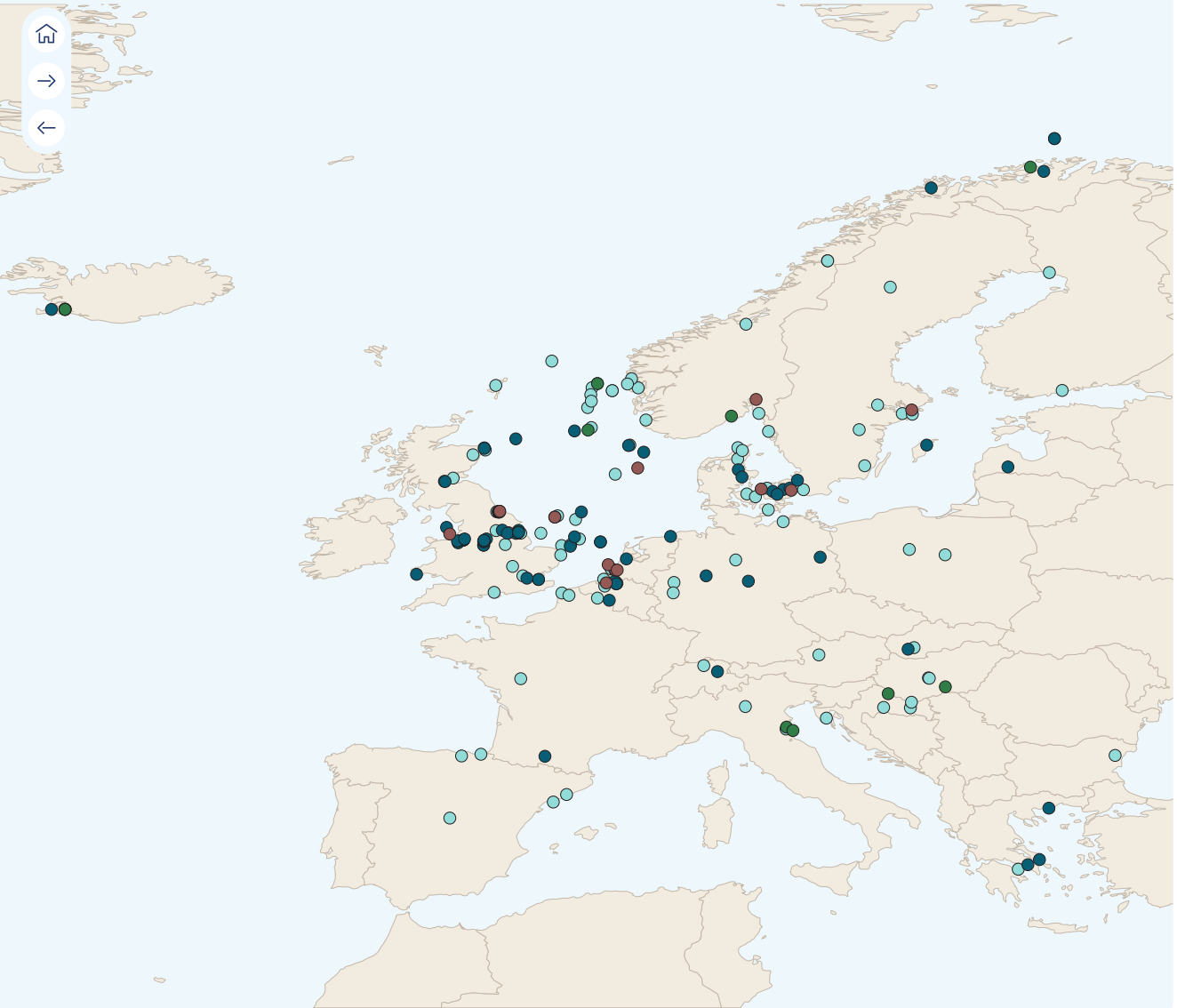
يمكن تحسين مواقع مراكز البيانات المستقبلية التي تستخدم محطات الدورة المركبة بالغاز الطبيعي المقامة في الموقع لتحقيق كفاءة أعلى في المناطق التي يتوفر بها الغاز الطبيعي منخفض التكلفة بكثرة. وبالاقتران مع الأطر التنظيمية الممكنة لتقنيات احتجاز الكربون وتخزينه ووجود شبكات أنابيب لنقل ثاني أكسيد الكربون وفرص التخزين الجيولوجي المتاحة، تصبح هذه المواقع أهدافًا رئيسية لتوفير مصادر طاقة منخفضة الانبعاثات الكربونية ومرنة وموثوقة. كما هو موضح في الشكل الوارد أعلاه، يوجد تداخل كبير بين الولايات والأحواض وخطوط أنابيب ثاني أكسيد الكربون الخاصة بمحطات الدورة المركبة بالغاز الطبيعي المزوّدة بتقنية احتجاز الكربون وتخزينه، ما يعزز القدرة على توفير مصادر طاقة منخفضة الانبعاثات الكربونية ومستدامة وموثوقة لمراكز البيانات المستقبلية.

مصادر البيانات: https://www.datacentres.com/ ؛https://www.datacentres.google/ ؛https://aws.amazon.com/ ؛https://datacentres.atmeta.com/. تم الحصول على بيانات الولايات المظللة من معهد أبحاث الطاقة الكهربائية (الجبور وآخرون، 2024) وأحواض التخزين من قاعدة البيانات الوطنية لتخزين الكربون، وزارة الطاقة الأمريكية (2025).

أوروبا والمملكة المتحدة

يشهد هذا العام المحوري حالات توافقٍ في السياسات وتقدمًا ملموسًا في المشاريع

تعمل أوروبا على تعزيز عملية إدارة الكربون الصناعي باعتبارها جزءًا أساسيًا من جدول أعمالها المتعلق بسياساتها المناخية والصناعية. وقد برز عام 2025 بصفته عامًا محوريًا اتسم بتوافق السياسات الرئيسية والتقدّم الملموس في المشاريع. وتعزّز الصفقة الصناعية النظيفة للمفوضية الأوروبية العلاقة بين الطموح المناخي والقدرة التنافسية الصناعية، في حين تشير الاتفاقية الجديدة لربط نظم تداول الانبعاثات في الاتحاد الأوروبي والمملكة المتحدة إلى التزام متجدد بالتعاون الإقليمي.
تضع هذه التطورات، إضافة إلى توسيع نطاق البنية التحتية لتخزين ثاني أكسيد الكربون وتزايد اهتمام المستثمرين، أوروبا في موقع الريادة المتنامية في مجال تقنيات إدارة الكربون.



الهدف - يلزم القانون والقرار الصادر عن المفوضية بموجب قانون الصناعة الخالية من الانبعاثات الكربونية 44 شركة أوروبية لإنتاج النفط والغاز بتطوير سعة تخزين إجمالية لثاني أكسيد الكربون تبلغ 50 مليون طن سنويًا بحلول عام 2030.

التقدم المحرز - لقد بدأ تشغيل خمس مشاريع لاحتجاز الكربون وتخزينه، ودخلت سبع مشاريع أخرى مرحلة الإنشاء منذ منتصف عام 2024.

التعاون - تشير الاتفاقيات الجديدة المُبرمة مع دول مثل اليونان ومصر وسويسرا والنرويج والمملكة المتحدة إلى توسع نطاق التعاون العابر للحدود.

التحديات - لا تزال هناك عقبات، بما في ذلك القيود المفروضة على الوصول إلى مواقع التخزين البحرية الموجودة خارج نطاق المنطقة الاقتصادية الأوروبية، ورفض المجتمع للتخزين على اليابسة والثغرات التنظيمية المتعلقة بإزالة الكربون.

مرفق بريفيك لاحتجاز الكربون وتخزينه، النرويج، الصورة مقدمة من شركتي إس إل بي كابتوري وهايدلبرج ماتيريالز.

شهد قطاع احتجاز الكربون وتخزينه في أوروبا تقدمًا في عام 2025 على صعيد الاستثمار والشفافية والتعاون العابر للحدود، ما يعكس تزايد الفرص في المنطقة والزيادة الملحوظة في أنشطة المشاريع في العديد من القطاعات.

لقد زاد عدد مشاريع احتجاز الكربون وتخزينه قيد التشغيل لأكثر من الضعف منذ يوليو 2024. على وجه الخصوص، بدأ مصنع بريفيك لاحتجاز الكربون وتخزينه، وهو أكبر مصنع أسمنت في العالم يستخدم هذه التقنية، عملياته في يونيو 2025 (هايدلبرج ماتيريالز، 2025). واتخذت سبعة مشاريع إضافية قرار الاستثمار النهائي أو الإغلاق المالي، مما يشير إلى تزايد الجدوى التجارية وجاهزية الحكومات لدعم نشر هذه التقنية.

لقد تحولت أسس السياسات التي طال انتظارها في المملكة المتحدة بشأن احتجاز الكربون وتخزينه إلى نتائج استثمارية ملموسة، كما يتضح من إتمام الإغلاق المالي لمشروعي "صافي الانبعاثات الصفرية في تيسايد" و"شراكة نورثرن إنديورانس" في ديسمبر 2024 (الحكومة البريطانية، 2024). ويُعد ذلك إنجازًا هامًا بعد سنوات من التطوير الاستراتيجي بموجب المسار الثاني من برنامج تسلسل المجمّعات.

على الرغم من التقدم الكبير المحرز في البنية التحتية لنقل ثاني أكسيد الكربون وتخزينه، ما يزال نشر تقنية احتجاز الكربون وتخزينه في عمليات إنتاج الهيدروجين غير متطور بالقدر الكافي. ومن المتوقع أن تتقلص هذه الفجوة في أعقاب اعتماد المفوضية الأوروبية للقانون الصادر عنها بشأن الوقود منخفض الانبعاثات الكربونية في يوليو 2025 الذي يهدف إلى توفير الوضوح اللازم لمسارات اعتماد الهيدروجين (المفوضية الأوروبية، 2025ب).

تهدف المبادرات الأوروبية الأخيرة إلى تحويل الشفافية إلى أداة عملية لتحفيز الاستثمار في تقنيات احتجاز الكربون وتخزينه. منذ ديسمبر 2024، أصبح يتعيّن على الدول الأعضاء تقديم تقارير سنوية إلى المفوضية الأوروبية تتضمّن تفاصيل عن مشاريع احتجاز ثاني أكسيد الكربون ونقله وتخزينه الجارية وعن احتياجات السعة المستقبلية. وقد أتاحت المفوضية الأوروبية هذه التقارير للجمهور (المفوضية الأوروبية، 2025هـ). في مايو 2025، وفي إطار برنامج "آفاق أوروبا" للتمويل، أطلقت المفوضية دعوة لتقديم مقترحات لتطوير أطلس رقمي لسعة التخزين الجيولوجي لثاني أكسيد الكربون القابلة للاستثمار (المفوضية الأوروبية، 2025ح).

التعاون العابر للحدود

يظل التعاون العابر للحدود ميزة أساسية لاستراتيجية إدارة الكربون في أوروبا، مع تزايد الاهتمام بالشراكات الدولية التي يتجاوز نطاقها المنطقة الاقتصادية الأوروبية. في أوائل عام 2025، شهدت الاتفاقية التاريخية بين اليونان ومصر توقيع أول مذكرة تفاهم في منطقة البحر الأبيض المتوسط بشأن احتجاز الكربون واستخدامه وتخزينه (هيريما، 2025).

كما يزداد التوجّه نحو إبرام اتفاقيات ثنائية ومتعددة الأطراف تدعم نقل ثاني أكسيد الكربون عبر الحدود. فقد صدَّقت فرنسا في يونيو 2025 على تعديل بروتوكول لندن عام 2009، وذلك في أعقاب إدراج ألمانيا التصديق على هذا التعديل في اتفاقها الائتلافي (سي دي يو وآخرون، 2025؛ في بوبليك، 2025). كما وقّعت النرويج وسويسرا اتفاقية تاريخية بموجب المادة 6.2، مما أدى إلى وضع أحد أوائل الأطر التعاونية لعمليات إزالة الكربون الدولية بموجب اتفاقية باريس (الحكومة النرويجية، 2025أ).

لقد زاد عدد مشاريع احتجاز الكربون وتخزينه التشغيلية في أوروبا والمملكة المتحدة إلى أكثر من الضعف منذ يوليو 2024.
على وجه الخصوص، بدأ مصنع بريفيك لاحتجاز الكربون وتخزينه، وهو أكبر مصنع أسمنت في العالم يستخدم هذه التقنية، عملياته في يونيو 2025.

وشهدت قمة الاتحاد الأوروبي والمملكة المتحدة في مايو 2025 الإعلان عن اتفاقية استراتيجية لربط نظامي تداول الانبعاثات في الجانبين (مجلس الاتحاد الأوروبي، 2025). ويُعد هذا الربط، القائم على التوافق الديناميكي، إنجازًا مهمًا لتحقيق التكامل التنظيمي، وقد يفتح مسارات طال انتظارها لنقل ثاني أكسيد الكربون وتخزينه عبر الحدود. كما تمثل هذه الاتفاقية، بصورة رمزية، تجديدًا للتعاون بين لندن وبروكسل بشأن الأهداف المشتركة المتعلقة بالمناخ.

التحديات

على الرغم من هذا التقدم، إلا أن هناك العديد من العقبات التي قد تبطئ عملية نشر تقنية احتجاز الكربون وتخزينه في حال عدم معالجتها:

- **عدم استقرار الوضع السياسي:** أدى انهيار الحكومة الألمانية في أواخر عام 2024 إلى تأخير اعتماد تشريعات احتجاز الكربون وتخزينه، واتضح من الرفض المبدئي لفرنسا لتعديل بروتوكول لندن هشاشة الدعم الشعبي والبرلماني (كلين إنرجي واير، 2025؛ في بوبليك، 2025).
- **مخاطر العبور بين السلاسل:** لا توفر عمليات الإعداد الحالية لعقود الفروقات في سعر الكربون الوطنية حماية كافية للجهات المُصدِّرة للانبعاثات في حال واجهت البنية التحتية للنقل والتخزين حالات تأخير. وهذا يجعل المشاريع عُرضة لتقلبات التكاليف وخسارة الدعم المالي ومخاطر إيقاف التشغيل. إن النموذج البريطاني، بما يتضمنه من أحكام تتعلق بضمان استمرارية الدعم المالي ورقابة هيئة تنظيم الطاقة على التكاليف والحد من مخاطر مكونات النقل والتخزين، يقدِّم لصانعي السياسات في الاتحاد الأوروبي مثالًا قابلًا للتطبيق (المعهد العالمي لاحتجاز الكربون وتخزينه، 2025).
- **حوافز غير كافية لتقنيات احتجاز الكربون وتخزينه باستخدام مصادر الطاقة الحيوية واحتجاز الكربون وتخزينه مباشرة من الهواء:** رغم تبنّي إطار اعتماد إزالة الكربون، لم تدرَج هذه التقنيات بعد ضمن نظام تداول الانبعاثات في الاتحاد الأوروبي أو المملكة المتحدة، ما يحد من حصولها على مصادر دخل ثابتة. أعربت المملكة المتحدة عن اعتزامها إدراج تقنيات الإزالة ضمن نظام تداول الانبعاثات، واقترحت نموذج أعمال لإزالة انبعاثات الغازات الدفيئة (الحكومة البريطانية وآخرون، 2025).

الاستدامة

لا يزال التصور العام والمخاوف الاجتماعية بشأن المخاطر المتعلقة بالسلامة والمخاطر البيئية يشكلان تحديات أمام نشر مشاريع تخزين ثاني أكسيد الكربون على اليابسة في جميع أنحاء أوروبا. إن إيقاف مشروع بيكاسو الفرنسي في أواخر عام 2024 بسبب المعارضة المحلية يوضّح كيف يمكن للمقاومة الشعبية أن تؤخر المبادرات، حتى لو كانت مدعومة من قبل كبرى الجهات الصناعية الفاعلة (كاربن هيرالد، 2024).

ومن ناحية أخرى، حصل مشروع "كاربفيكس" في أيسلندا على أول ترخيص لتخزين ثاني أكسيد الكربون على اليابسة في توجيه الاتحاد الأوروبي بشأن احتجاز الكربون وتخزينه، ما يدل على إمكانية تحقيق القبول المجتمعي بالمشاركة الفعالة لأصحاب المصلحة والتواصل الشفاف (كاربفيكس، 2025). وهذه النتائج المتباينة تسلّط الضوء على أهمية إشراك المجتمعات المحلية في وقت مبكر وبصورة مستمرة.

السياسة

تستمر البيئة السياسية المتعلقة باحتجاز الكربون وتخزينه في أوروبا في التطور، وذلك بفضل استمرارية النهج الذي تبنته المفوضية الأوربية في الفترة ما بين 2019 و2024 والمبادرات الجديدة التي أطلقتها في فترة ولايتها 2024–2029. ومن بين أكثر السياسات تحولًا قانونُ الصناعة الخالية من الانبعاثات الكربونية الذي يفرض على منتجي النفط والغاز تطوير سعة حقن إجمالية تبلغ 50 مليون طن سنويًا بحلول عام 2030. وهذا يمثل تحولًا من الطموح الطوعي إلى الالتزام القانوني، ويُعدُّ إشارة واضحة إلى اعتزام الاتحاد الأوروبي تعميم استخدام تقنية احتجاز الكربون وتخزينه.

أعادت الصفقة الصناعية النظيفة، المُعلَن عنها في فبراير 2025، تعريف التنافسية الصناعية بوصفها أداة لتحقيق الحياد المناخي (المفوضية الأوروبية، 2025د). وتشمل المقترحات الرئيسية إعداد قانون تسريع إزالة الكربون الصناعي وإمكانية توسيع نظام تداول الانبعاثات في الاتحاد الأوروبي ليشمل عمليات إزالة الكربون، إلى جانب إنشاء بنك مُخصَّص لتمويل مشاريع إزالة الكربون الصناعي (المفوضية الأوروبية، 2025و، 2025ز). وتهدف هذه الجهود مجتمعة إلى تحفيز كل من العرض والطلب على الحلول منخفضة الكربون.

كما يُسجَّل تقدُم ملموس على صعيد سياسة إزالة الكربون. فقد اعتمد الاتحاد الأوروبي إطار اعتماد إزالة الكربون في أواخر عام 2024، ما مهَّد الطريق لإصدار شهادات طوعية لتقنيات احتجاز الكربون وتخزينه باستخدام مصادر الطاقة الحيوية واحتجاز الكربون وتخزينه مباشرة من الهواء وغيرها من التقنيات. مع أن المنهجيات الكاملة ما تزال قيد التطوير، يُشكّل إطار اعتماد إزالة الكربون سابقة لدمج عمليات إزالة الكربون ضمن أدوات السياسة العامة الأوسع نطاقًا.

مع ذلك، لا تزال هناك فجوات جوهرية قائمة، من أبرزها عدم وجود إطار تنظيمي مخصص على مستوى الاتحاد الأوروبي للبنية التحتية لنقل ثاني أكسيد الكربون. تخطط المفوضية الأوروبية لإصدار مقترح تنظيمي لمعالجة هذه المسألة في الربع الثالث من عام 2026.

مشاريع احتجاز الكربون وتخزينه التي وصلت إلى مرحلة اتخاذ قرار الاستثمار النهائي أو الإغلاق المالي في أوروبا (يوليو 2024 – يوليو 2025)

اسم المشروع	الدولة	اسم المشروع	تاريخ الإغلاق المالي/ قرار الاستثمار النهائي
نت زيرو تيساید باور	المملكة المتحدة	توليد الطاقة والحرارة باستخدام الغاز الطبيعي	24 ديسمبر
نورثرن إنديورانس	المملكة المتحدة	نقل ثاني أكسيد الكربون وتخزينه	24 ديسمبر
مشروع غرين ساند	الدنمارك	نقل ثاني أكسيد الكربون وتخزينه	24 ديسمبر
هافسلوند أوسلو سيلسيو	النرويج	تحويل النفايات إلى طاقة	25 يناير
بيكس ستوكهولم	السويد	توليد الطاقة والحرارة من مصادر الطاقة الحيوية	25 مارس
إيني هاينت نورث ويست	المملكة المتحدة	نقل ثاني أكسيد الكربون وتخزينه	25 أبريل
خط أنابيب فلوكسيس سي-غريد أنتويرب	بلجيكا	نقل ثاني أكسيد الكربون وتخزينه	25 مايو

استراتيجيات إدارة الكربون الوطنية وخرائط الطريق لنشر تقنية احتجاز الكربون وتخزينه وإزالة ثاني أكسيد الكربون

الدول الأعضاء في الاتحاد الأوروبي

تُكمل الحكومات الوطنية جهود الاتحاد الأوروبي:

جمهورية التشيك: أصدرت خطة عمل وطنية بشأن احتجاز الكربون واستخدامه وتخزينه (وزارة البيئة التشيكية، 2025).

الدنمارك: أحرزت تقدمًا في صندوق تمويل مشاريع احتجاز الكربون وتخزينه البالغة قيمته 1.1 مليار يورو، حيث أدرجت 10 مشاريع في القائمة المختصرة (وكالة الطاقة الدنماركية، 2025).

فرنسا: صدقت على تعديل بروتوكول لندن ووقّعت اتفاقية ثنائية مع النرويج بشأن نقل ثاني أكسيد الكربون وتخزينه (الحكومة النرويجية، 2025ب).

ألمانيا: وافقت على المرحلة الثانية من اتفاقيات حماية المناخ التي تتضمن مشاريع احتجاز الكربون وتخزينه، ونشرت مسودة لمراجعة تحويل توجيه الاتحاد الأوروبي بشأن تقنية احتجاز الكربون وتخزينه إلى تشريع وطني (المفوضية الأوروبية، 2025أ).

اليونان: وقّعت مذكرة تفاهم في منطقة البحر الأبيض المتوسط مع مصر بشأن احتجاز الكربون واستخدامه وتخزينه.

هولندا: نشرت خارطة طريق لإزالة ثاني أكسيد الكربون في مارس 2025، ووقّعت مذكرة تفاهم مع المملكة المتحدة تشمل التعاون في مجال احتجاز الكربون واستخدامه وتخزينه (الحكومة الهولندية، 2025؛ مملكة هولندا، 2025).

رومانيا: عدلت توجيهها الخاص باحتجاز الكربون وتخزينه إلى تشريع وطني لتسريع عملية تطوير البنية التحتية (الحكومة الرومانية، 2025).

التطورات في المملكة المتحدة

واصلت المملكة المتحدة عملية تطوير إدارة الكربون الصناعي من خلال ما يلي:

أول إغلاقات مالية لمشاريع احتجاز الكربون وتخزينه (ديسمبر 2024): يأتي ذلك في إطار وضع السياسات ضمن المسار الأول من عملية المجمّعات.

تعديلات نظام تداول الانبعاثات في المملكة المتحدة (نوفمبر 2024 - يناير 2025): مشاورات حول توسيع نطاق النظام ليشمل الانبعاثات البحرية ونقل ثاني أكسيد الكربون بوسائل غير خطوط الأنابيب (حكومة المملكة المتحدة وآخرون، 2024).

الربط المستقبلي بين نظامي تداول الانبعاثات في الاتحاد الأوروبي والمملكة المتحدة (مايو 2025): يهدف إلى تعزيز التوافق التنظيمي وتطوير البنية التحتية العابرة للحدود.

كود شبكة احتجاز الكربون وتخزينه (يناير 2025): يضع معايير وصول الجهات الخارجية والمعايير التشغيلية لنقل ثاني أكسيد الكربون (وزارة أمن الطاقة والحياد الكربوني البريطانية، 2025).

تحديث إرشادات الترخيص (فبراير - أبريل 2025): أصدرتها هيئة بحر الشمال الانتقالية بشأن تصاريح تخزين ثاني أكسيد الكربون (هيئة بحر الشمال الانتقالية، 2025).

إزالة انبعاثات الغازات الدفيئة (أغسطس 2025): أصدرت الحكومة نموذج الأعمال الخاص بإزالة انبعاثات الغازات الدفيئة.

ب ئ ح ق ن ث ا ن ي أ ك س ي د ا ل ك ر ب ون ف ي م و ق ع ك ا ر ب ف ي ك س ف ي ه ي ل ي س ل ن د ا ل ص و ر ة ق د م ة ن ت و م ا س ر ا ت و ي س ف ي ه ذ ا ل م و ق ع، تحقن شركة كاربفيكس ثاني أكسيد الكربون تحت الأرض، حيث يتحول إلى معادن مستقرة.

التمويل

لا يزال التمويل العام يشكل الركيزة الأساسية للكثير من مشاريع تطوير تقنية احتجاز الكربون وتخزينه في أوروبا. في المملكة المتحدة، تم تأكيد الدعم المالي الذي طال انتظاره لمشروعي أكورن وفايكنغ في يونيو 2025 (الحكومة البريطانية، 2025).

على مستوى الاتحاد الأوروبي، لا يزال صندوق الابتكار (دعوة بقيمة 2.4 مليار يورو) ومرفق التواصل الأوروبي في مجال الطاقة (بميزانية 600 مليون يورو) يمثلان الأدوات الرئيسية في تسريع وتيرة نشر مشاريع احتجاز الكربون وتخزينه (الوكالة التنفيذية الأوروبية للمناخ والبنية التحتية والبيئة، 2025؛ المفوضية الأوروبية، 2024). يجري تعزيز هذه الصناديق في الوقت الحالي من خلال إطار المساعدات الحكومية الصناعية النظيفة الذي يوفر مرونة أكبر للدول الأعضاء لدعم جهود إزالة الكربون الصناعي (المفوضية الأوروبية، 2025ج). يستند إطار المساعدات الحكومية الصناعية النظيفة إلى المبادئ التوجيهية الحالية بشأن المساعدات الحكومية المخصصة للمناخ وحماية البيئة والطاقة ويكملها، وهي المبادئ التي تستخدمها العديد من الدول بالفعل لدعم تقنية احتجاز الكربون وتخزينه (المفوضية الأوروبية، 2022).

مع ذلك، لا يزال هناك نقص كبير: حيث لا يقدم إلا عدد قليل من الدول عقود الفروقات في سعر الكربون أو أدوات مماثلة. ودون وجود ضمانات للإيرادات طويلة الأجل، يظل الاستثمار الخاص محدودًا في العديد من الدول الأعضاء في الاتحاد الأوروبي.

من المسائل المُحفزة دخول رأس المال الخاص إلى هذا القطاع. حيث تعكس الشراكة التي أقيمت بين شركة إيني وشركة جلوبال إنفراستراكتشر بارتنرز في مايو 2025، والتي تشمل أصولًا في المملكة المتحدة وهولندا وإيطاليا، تزايد ثقة المستثمرين (إيني، 2025).

بالتوازي مع ذلك، يشهد سوق الكربون الطوعي حالة من التنوع، حيث زادت شركة مايكروسوفت حجم مشتريات تقنيات احتجاز الكربون وتخزينه باستخدام مصادر الطاقة الحيوية من شركة ستوكهولم إكسيرجي ليصل إلى أكثر من 5 ملايين طن (احتجاز الكربون وتخزينه باستخدام مصادر الطاقة الحيوية في ستوكهولم، 2025). تدرس المفوضية الأوروبية حاليًا إطلاق برنامج على مستوى الاتحاد الأوروبي لشراء إزالة ثاني أكسيد الكربون (CDR) بهدف تحفيز مزيد من الطلب (المفوضية الأوروبية، 2025ي). كما تُحرز أوروبا تقدّمًا تكنولوجيًا ملحوظًا في هذه المجالات:

- **شحن ثاني أكسيد الكربون**: أُطلقَت أول شركة شحن محلية لثاني أكسيد الكربون في أوروبا في مايو 2025 لخدمة مشروع "غرينساند" في الدنمارك (إينيوس، 2025).
- **تطبيق تقنية احتجاز الكربون وتخزينه في قطاع توليد الكهرباء**: حققت المملكة المتحدة أول عملية إغلاق مالي في العالم لمحطة كهرباء تعمل بالغاز مزوّدة بتقنية احتجاز الكربون وتخزينه (ديسمبر 2024).

مخططات المساعدات الحكومية الداعمة لتقنية احتجاز الكربون وتخزينه التي وضعتها الدول الأعضاء في الاتحاد الأوروبي

الدول الأعضاء في الاتحاد الأوروبي	الإطار القانوني	نوع المشاريع	أداة المساعدة	المبلغ	مدة المُخطط	قرار المفوضية
هولندا	المبادئ التوجيهية للمساعدات في مجالي الطاقة والبيئة	مصادر الطاقة الكهربائية والغاز والحرارة المتجددة واستخدام الحرارة المهدورة من العمليات الصناعية والمضخّات الحرارية والتحول إلى الطاقة الكهربائية وحرق النفايات وتقنية احتجاز الكربون وتخزينه والهيدروجين	منحة مباشرة	30 مليار يورو	حتى 31 ديسمبر 2025	20 ديسمبر
الدنمارك	المساعدات الحكومية المخصصة للمناخ وحماية البيئة والطاقة	تقنية احتجاز الكربون وتخزينه	منحة مباشرة	1.1 مليار يورو	من يناير إلى أبريل 2023	23 يناير
الدنمارك	المساعدات الحكومية المخصصة للمناخ وحماية البيئة والطاقة	تقنية احتجاز الكربون وتخزينه باستخدام مصادر الطاقة الحيوية	منحة مباشرة	350 مليون يورو	حتى 31 ديسمبر 2024	23 ديسمبر
السويد	المساعدات الحكومية المخصصة للمناخ وحماية البيئة والطاقة	تقنية احتجاز الكربون وتخزينه باستخدام مصادر الطاقة الحيوية	منحة مباشرة	3 مليار يورو	يوليو 2024 - ديسمبر 2028	24 يوليو
اليونان	المساعدات الحكومية المخصصة للمناخ وحماية البيئة والطاقة	البنية التحتية البرية والبحرية جزء من مشروع بريتوس	منحة مباشرة	150 مليون يورو	بدءًا من أكتوبر 2024	24 أكتوبر
فرنسا	المساعدات الحكومية المخصصة للمناخ وحماية البيئة والطاقة	التحويل إلى طاقة كهربائية وتقنية احتجاز الكربون وتخزينه واحتجاز الكربون واستخدامه وكفاءة استهلاك الطاقة	عقود الفروقات في سعر الكربون	3 مليار يورو	عقد لمدة 15 عامًا	24 ديسمبر
ألمانيا	المساعدات الحكومية المخصصة للمناخ وحماية البيئة والطاقة	التحويل إلى طاقة كهربائية وتقنية احتجاز الكربون وتخزينه واحتجاز الكربون واستخدامه وكفاءة استهلاك الطاقة والهيدروجين	أخرى، منحة مباشرة	5 مليار يورو	حتى 31 ديسمبر 2026	25 مارس

من المسائل المُحفزة دخول رأس المال الخاص إلى هذا القطاع. حيث تعكس الشراكة التي أقيمت بين شركة إيني وشركة جلوبال إنفراستراكشر بارتنرز في مايو 2025، والتي تشمل أصولًا في المملكة المتحدة وهولندا وإيطاليا، تزايد ثقة المستثمرين.

مركز كالوندبورغ، الدنمارك، الصورة مقدمة من شركة إس إل بي كابتوري.

حصلت مشاريع احتجاز الكربون وتخزينه في المملكة المتحدة على تمويل خاص تاريخي

وصل اثنان من أبرز مشاريع احتجاز الكربون وتخزينه في المملكة المتحدة، نت زيرو تيساید وشراكة نورثرن إنديورانس، إلى الإغلاق المالي بعد تأمين تمويل بالدين بقيمة إجمالية تبلغ 8 مليارات جنيه إسترليني. وتُعد هذه الصفقات من أضخم عمليات تمويل المشاريع في المملكة المتحدة منذ عدة عقود، كما تمثل أول تمويل لمشروع احتجاز وتخزين الكربون متكامل السلسلة. وستدعم هذه الصفقات، المدعومة من شركات بي بي وإكوينور وتوتال إنرجيز، البنية التحتية لنقل الكربون وتخزينه وتوليد الطاقة في منطقة تيسساید وهامبر.

ستُموّل حزمة شراكة نورثرن إنديورانس عملية إنشاء شبكة خطوط أنابيب لثاني أكسيد الكربون تربط الصناعات عالية الانبعاثات الكربونية بموقع التخزين "إنديورانس" جنوب بحر الشمال. أما مشروع نيت زيرو تيساید فقد حصل على تمويل لإنشاء محطة غاز بقدرة 742 ميجاواط مزودة بتقنية احتجاز الكربون. ويتشارك كلا المشروعين نفس المقرضين والهياكل المتعلقة بالمخاطر، ما يعكس طبيعتهما المتكاملة.

تمثل هذه الصفقات مرحلة محورية في تعبئة رأس المال الخاص لدعم نشر مشاريع احتجاز الكربون وتخزينه في المملكة المتحدة، كما أنها تكمل التعهد الحكومي بتوفير التمويل. كما تتجه مشاريع إضافية ضمن مُجمَّعات هاينت وفايكنغ وأكورن نحو مرحلة الإغلاق المالي بدعم من المؤسسات المالية.

دراسة الحالة: الالتزام بسعة الحقن بموجب قانون الصناعة الخالية من الانبعاثات الكربونية

يُعد قانون الصناعة الخالية من الانبعاثات الكربونية الذي اعتُمِد في يونيو 2024 مؤشرًا استراتيجيًّا من الاتحاد الأوروبي لدعم تقنية احتجاز الكربون وتخزينه (الجريدة الرسمية للاتحاد الأوروبي، 2024)، حيث يلزم هذا القانون منتجي النفط والغاز بتطوير سعة حقن ثاني أكسيد كربون لا تقل عن 50 مليون طن سنويًا داخل الاتحاد الأوروبي بحلول عام 2030. في مايو 2025، اعتمدت المفوضية الأوروبية لائحة تفويضية وقرارًا مُتعلقًا بها حددت من خلالهما 44 كيانات ملزَمة وحجم مساهمة كل منها في تحقيق هذا الهدف (الجريدة الرسمية للاتحاد الأوروبي، 2025).

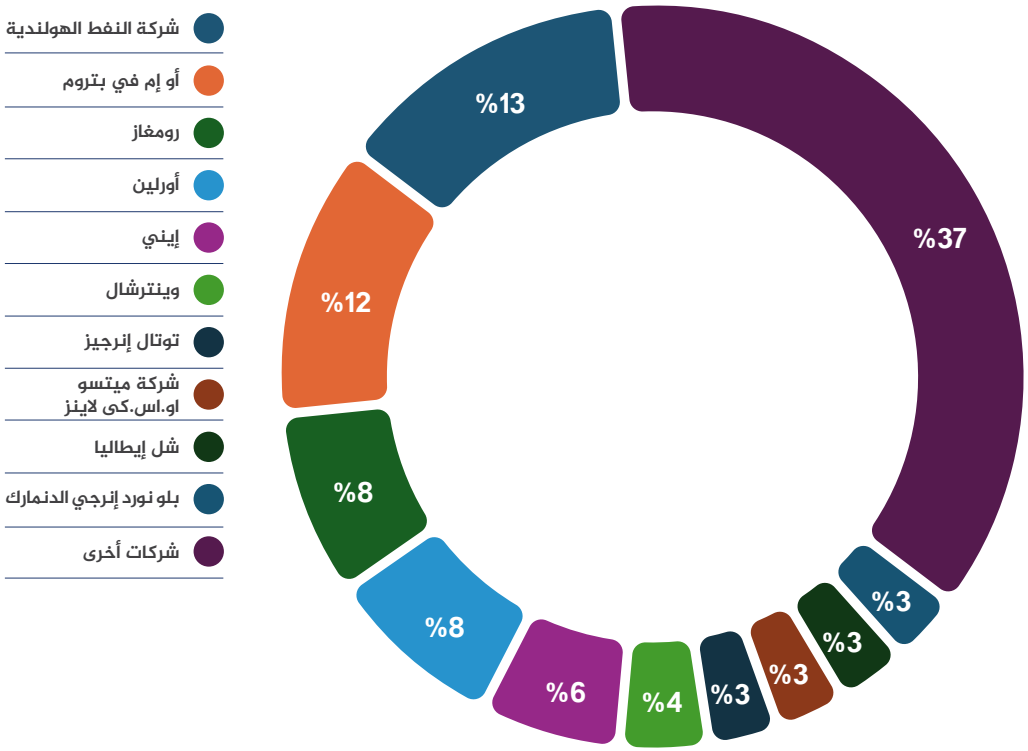
تقع الكيانات الأربعة والأربعون (44)، التي احتُسبت مساهماتها بالتناسب بناءً على حصصها من إنتاج الاتحاد الأوروبي من النفط والغاز الطبيعي خلال الفترة من 2020 إلى 2023، في 11 دولة من الدول الأعضاء في الاتحاد الأوروبي وهي: هولندا ورومانيا وإيطاليا وألمانيا وبولندا والدنمارك والمجر وأيرلندا وكرواتيا والنمسا وفرنسا.

قد تُسهم هذه الخطوة في معالجة اختلال التوازن الجغرافي الحالي في تطوير مشاريع تخزين ثاني أكسيد الكربون، إذ لا يزال معظمها متمركزًا في منطقة بحر الشمال، غير أن قانون الصناعة الخالية من الانبعاثات الكربونية لا يُلزم الشركات بالوفاء بالتزاماتها داخل الدولة التي صدرت منَها رخص التنقيب عن الهيدروكربونات. وبدلًا من ذلك، يسمح القانون بالامتثال في أي مكان داخل الاتحاد الأوروبي، ما يتيح عدة خيارات، من بينها:

- الاستثمار المباشر في مشاريع تخزين ثاني أكسيد الكربون.
- إبرام اتفاقات مع شركات ملزَمة أخرى لتقاسم المسؤوليات أو نقلها.
- إقامة شراكات مع مطوري مشاريع أو مستثمرين خارجيين.

توفر هذه المرونة ميزة للدول التي لا يوجد بها مواقع جيولوجية صالحة لتخزين ثاني أكسيد الكربون، لكنها قد تزيد أيضًا من حدة المنافسة على مواقع التخزين الأكثر جاذبية. أما العقوبات الخاصة بعدم الامتثال فستُحددها دول الاتحاد الأوروبي بحلول منتصف عام 2026، ومن المتوقع أن تكون من الموضوعات الرئيسية في المناقشات التي تنعقد على مستوى الاتحاد الأوروبي خلال عام 2026.

سعة حقن ثاني أكسيد الكربون الخاصة بالشركات المُلزَمة بحلول عام 2030



الشرق الأوسط وأفريقيا

الطموح يتحول إلى واقع ملموس مع انتقال التركيز من مرحلة وضع الاستراتيجيات إلى مرحلة التنفيذ

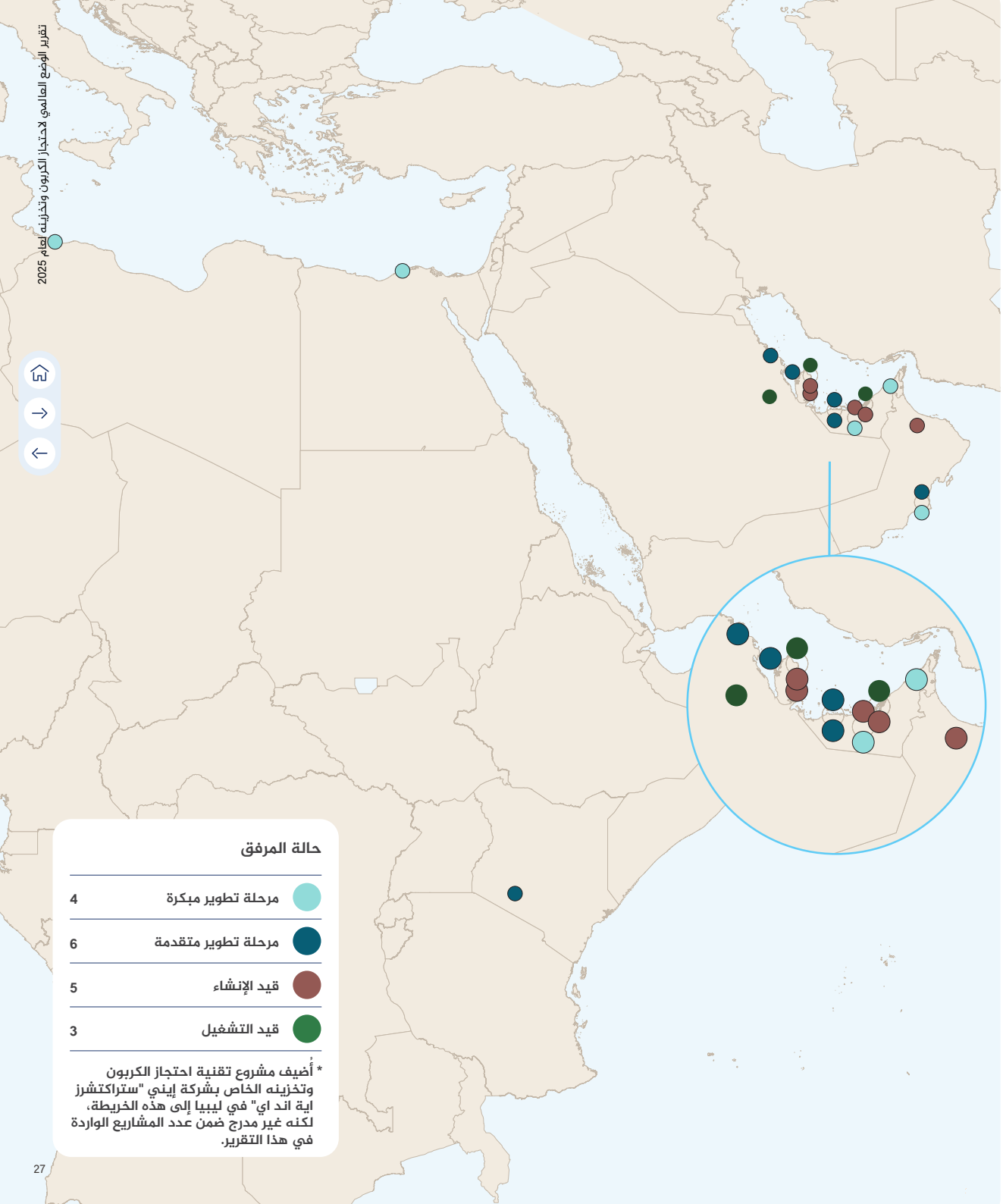
خلال العام الماضي، شهدت منطقة الشرق الأوسط وأفريقيا تقدمًا ملحوظًا في تحويل استراتيجيات احتجاز الكربون وتخزينه إلى مشاريع واستثمارات وأطر سياسات ملموسة. ويدل هذا التحول على الزخم المتزايد نحو تخفيض الانبعاثات الكربونية وتعزيز القدرة على التكيف مع تغير المناخ، مدعومًا بالالتزامات الوطنية والشراكات العابرة للحدود والابتكار التكنولوجي.

التركيز – تولي المنطقة أولوية لتطوير مراكز احتجاز الكربون وتخزينه وسلاسل القيمة المتكاملة لدعم إزالة الكربون محليًا وتعزيز الصادرات منخفضة الانبعاثات. تدمج كل من المملكة العربية السعودية وسلطنة عُمان وقطر والإمارات العربية المتحدة والكويت ونيجيريا وجنوب أفريقيا تقنية احتجاز الكربون وتخزينه في استراتيجياتها الوطنية، ما يُمكّن من النشر المبكر لهذه التقنية واستكشاف فرص التعاون العابرة للحدود والوصول إلى الأسواق الدولية.

العوامل الدافعة – تشمل العوامل الرئيسية أهداف صافي الانبعاثات الصفرية والالتزامات بإزالة الكربون الصناعي وتعزيز القدرة التنافسية في ظل قواعد الكربون العالمية. وتسهم تحولات السياسات العامة وتزايد مشاركة القطاع الخاص والشراكات المُقامة مع الجهات الفاعلة الدولية في جميع أنحاء الولايات المتحدة وأوروبا وآسيا في تسريع وتيرة الاستثمار والابتكار.

التقدم المحرز – تشهد منطقة الشرق الأوسط وأفريقيا عملية إنشاء أول مركز إقليمي لاحتجاز الكربون واستخدامه وتخزينه في المملكة العربية السعودية، في حين يجري تنفيذ مشاريع تجريبية للاحتجاز المباشر من الهواء وتقنيات الاحتجاز المعيارية في السعودية والإمارات وكينيا. كما تضع الإمارات وسلطنة عُمان أطرًا قانونية لهذا القطاع. وتُحرز الكويت ونيجيريا وجنوب أفريقيا تقدّمًا في تقييم مواقع التخزين وتنفيذ المشاريع التجريبية وتطوير أدوات السياسات الأساسية اللازمة لدعم التوسع في هذه التقنيات.

التحديات – تواجه تقنية احتجاز الكربون وتخزينه في منطقة الشرق الأوسط وأفريقيا عددًا من التحديات الرئيسية، من بينها عدم وجود الأطر التنظيمية الخاصة بنقل وتخزين ثاني أكسيد الكربون وارتفاع التكاليف الأولية ومحدودية الوصول إلى التمويل. حيث لا تزال معظم التقنيات في مرحلة التجربة، في حين يُعدّ سوق الكربون غير متطور بعد، ما يحدّ من الجدوى التجارية لهذه المشاريع.



يُعَدّ إنشاء أولى مراكز احتجاز الكربون واستخدامه وتخزينه، مع وجود بنية تحتية داعمة قيد التخطيط حاليًا في المملكة العربية السعودية وسلطنة عُمان من أبرز التطورات في منطقة الشرق الأوسط وأفريقيا. يشهد مركز الجبيل لاحتجاز الكربون وتخزينه على الساحل الشرقي للمملكة العربية السعودية تقدمًا ملحوظًا، ومن المتوقع أن يحتجز ما يصل إلى 9 ملايين طن سنويًا من ثاني أكسيد الكربون بحلول عام 2028 بالتعاون مع أرامكو و SLB ولينده (SLB،2024). أما على الساحل الغربي، فيجري تطوير مركز لاستخدام الكربون وتخزينه في مدينة ينبع الصناعية، والذي يهدف في مرحلته الأولى إلى احتجاز واستخدام مليوني طن سنويًا من ثاني أكسيد الكربون لإنتاج الميثانول الأخضر واليوريا منخفضة الكربون ومنتجات أخرى (عرب نيوز، 2024).

تُحرز سلطنة عُمان أيضًا تقدّمًا ملحوظًا، حيث تقوم شركة أوكيو لشبكات الغاز على التخطيط بشكل فعّال لإنشاء شبكة وطنية لنقل ثاني أكسيد الكربون بهدف ربط مصادر الانبعاثات بمواقع التخزين والاستخدام، وذلك بما يتوافق مع استراتيجية الوصول لصافي انبعاثات صفرية لعام 2050. تشمل المبادرات الرئيسة تطوير مشاريع لتخزين ثاني أكسيد الكربون تحت الأرض بالتعاون مع شركة شل وإنشاء خط أنابيب لثاني أكسيد الكربون لاستخدامه في الاستخلاص المعزز للنفط بالشراكة مع شركة أوكسي عُمان ومشروع "بلو هورايزنز" لإنتاج الأمونيا منخفضة الانبعاثات الكربونية، والذي لا يزال في مرحلة ما قبل التصميم الهندسي الأولي وتتشارك فيه شركات شل وأوكيو وتنمية نفط عُمان (زاوية، 2025).

إضافة إلى ذلك، كشفت الشركة العمانية للغاز الطبيعي المسال عن استراتيجية وطنية لتخفيض الانبعاثات الكربونية تتضمّن مسارين لمشروعات احتجاز الكربون واستخدامه وتخزينه: الأول هو خيار التصدير الجزئي لثاني أكسيد الكربون، ويتضمن نقل ثاني أكسيد الكربون المحتجز من وحدة إزالة الغازات الحمضية إلى المنشآت الصناعية في مدينة صور الصناعية، أما الثاني فهو خيار التصدير الكامل لثاني أكسيد الكربون، والذي يشمل تخزينه جيولوجيًا في آبار النفط والغاز. كما تشمل الاستراتيجية إجراء دراسة لإنشاء مركز لإنتاج الهيدروجين في مدينة صور يستكشف سبل احتجاز ثاني أكسيد الكربون واستخدامه لإنتاج الأمونيا الخضراء والغاز الطبيعي الاصطناعي والميثانول الإلكتروني (عُمان أوبزرفر، 2024).

وتخزينه 2.2 مليون طن سنويًا، وتخطط لزيادة هذه السعة إلى 7–9 ملايين طن سنويًا بحلول عام 2030 وأكثر من 11 مليون طن سنويًا بحلول عام 2035. تُدمج تقنية احتجاز الكربون وتخزينه في عمليات إنتاج الغاز الطبيعي المسال في قطر، حيث يُحتجز ثاني أكسيد الكربون الناتج عن عمليات معالجة الغازات الحمضية ويُضغط لحقنه في مدينة راس لفان الصناعية. ومنذ بدء العمليات، تم احتجاز وتخزين أكثر من 7.5 مليون طن من ثاني أكسيد الكربون. يقترب مشروع تصدير ثاني أكسيد الكربون من الاكتمال، ومن المقرر أن ينقل ثاني أكسيد الكربون المحتجز من مرافق الغاز الطبيعي المسال إلى دخان لاستخدامه في عمليات الاستخلاص المعزز للنفط (EOR).

يستهدف مشروع التصميم الهندسي الأولي الذي يشمل 10 خطوط لإنتاج الغاز الطبيعي المسال احتجاز أكثر من 4 ملايين طن من ثاني أكسيد الكربون سنويًا، إضافة إلى حفر ست آبار لإعادة الحقن. كما تُحضّر قطر للطاقة مجموعة من المبادرات المستقبلية الإضافية في مجال احتجاز الكربون وتخزينه، تشمل ما يلي:

- دمج تقنية احتجاز الكربون وتخزينه مع وحدات إنتاج الغاز الطبيعي المسال الحالية.
- احتجاز ثاني أكسيد الكربون لاستخدامه في إنتاج الأمونيا الزرقاء.
- احتجاز ثاني أكسيد الكربون من مرافق معالجة الغاز الجديدة.
- احتجاز الانبعاثات الناتجة عن الاحتراق من التوربينات ومحطات توليد الطاقة التي تعمل بالغاز.
- إنشاء بنية تحتية لخطوط أنابيب نقل ثاني أكسيد الكربون لدعم النشر واسع النطاق لتقنية الاحتجاز والتخزين عبر سلسلة القيمة (قطر للطاقة، 2023).

يُعَدُّ إنشاء أولى مراكز احتجاز الكربون واستخدامه وتخزينه، مع وجود بنية تحتية داعمة قيد التخطيط حاليًا في المملكة العربية السعودية وسلطنة عُمان من أبرز التطورات في منطقة الشرق الأوسط وأفريقيا.

وحدة سايكلون سي سي التجريبية الصناعية، الإمارات العربية المتحدة، الصورة مقدمة من شركة كاربون كلين.

في دولة الإمارات العربية المتحدة، أنجزت أدنوك أول عملية حقن لثاني أكسيد الكربون، وحصلت على شهادة اعتماد من شركة DNV لموقعها للتخزين الجيولوجي، وهما محطتان رئيسيتان نحو نشر تقنيات احتجاز الكربون وتخزينه (DNV، 2024). وحققت الكويت نجاحًا مبكرًا في مشروعها التجريبي للاستخلاص المعزز للنفط باستخدام ثاني أكسيد الكربون الذي نُفذ بالتعاون بين شركة شل وشركة نفط الكويت (ذا بزنس، 2025). أنجزت نيجيريا عملية إعداد الصيغة النهائية لأطلسها الوطني المتعلق بتخزين ثاني أكسيد الكربون بالشراكة مع البنك الدولي ومؤسسة التمويل الدولية، ويقدّم هذا الأطلس تقييمًا تفصيليًا لإمكانات التخزين الجيولوجي ويسهل عملية اتخاذ قرارات استثمارية وتنظيمية مستنيرة (مؤسسة التمويل الدولية، 2025). وبدعم من الجهات المانحة الدولية ووكالة الطاقة الدولية، تواصل جنوب أفريقيا إجراء تقييماتها الوطنية لتخزين ثاني أكسيد الكربون، ما يؤهلها لنشر هذه التقنيات في مراحلها الأولية (البنك الدولي، 2024).

السياسة

بدأت الحكومات في منطقة الشرق الأوسط وأفريقيا بإضفاء الطابع المؤسسي على تقنيات احتجاز الكربون واستخدامه وتخزينه ضمن سياساتها الوطنية. ويُمثل المرسوم بقانون اتحادي رقم (11) لسنة 2024 في دولة الإمارات العربية المتحدة إنجازًا هامًا من خلال الاعتراف رسميًا بهذه التقنيات باعتبارها استراتيجية أساسية للحد من تأثيرات التغير المناخي وتحقيق الحياد المناخي الوطني. يُلزم القانون بالإبلاغ عن الانبعاثات ويُقدّم آليات إنفاذ، منها غرامات تصل إلى مليوني درهم إماراتي في حال عدم الامتثال. كما يضع القانون الأساس لإنشاء سجل وطني لأرصدة الكربون ويمنح وزارة التغير المناخي والبيئة صلاحية إصدار لوائح تفصيلية بشأن وضع معايير تقنيات احتجاز الكربون واستخدامه وتخزينه وتنفيذها.

بدأ سريان القانون في مايو 2025، وبموجبه تحولت تقنيات احتجاز الكربون واستخدامه وتخزينه من مسار اختياري إلى التزام تنظيمي للمنشآت الصناعية المصدّرة للانبعاثات (حكومة دولة الإمارات، 2024). وكذلك وضعت إمارة أبوظبي إطارًا لنظام الرصد والإبلاغ والتحقق يتيح توحيد منهجيات حصر الانبعاثات وإدراج تقنيات احتجاز الكربون واستخدامه وتخزينه في تقاريرها المتعلقة بالمناخ، لا سيما مساهمتها الثالثة المحددة وطنيًا (هيئة البيئة - أبوظبي، 2024).

في ديسمبر 2024، أطلقت سلطنة عمان مركز عُمان للحياد الصفري تحت إشراف وزارة الطاقة والثروة المعدنية ليكون الجهة الوطنية المسؤولة عن الإشراف على جهود خفض الانبعاثات الكربونية. يتولى المركز مسؤولية وضع استراتيجية الوصول إلى صافي انبعاثات صفرية لعام 2050 وتحديثها بانتظام، وتنسيق عملية تنفيذ المشاريع، بما في ذلك كفاءة استهلاك الطاقة وتقنية احتجاز وتخزين الكربون، وتقديم التوجيه الفني للجهات المعنية في القطاعين العام والخاص. يعمل المركز تحت إشراف لجنة توجيهية يرأسها الوزير وتضم جهات حكومية رئيسية. كما يتولى المركز إدارة شهادات اعتماد المنتجات منخفضة الكربون، ودعم آليات تداول الكربون، وبناء القدرات المؤسسية، وتعزيز الاستثمارات الرامية إلى توطين التقنيات المستدامة (وزارة الخارجية العُمانية، 2024).

تشكل هذه التطورات عنصرًا أساسيًا لضمان الخضوع للمسؤولية القانونية وجذب الاستثمارات وتمكين منح أرصدة خفض الانبعاثات. كما أنها توفر الأساس اللازم للتحول إلى أطر إلزامية مع توسع نطاق نشر تقنيات احتجاز الكربون وتخزينه.

تشكل هذه التطورات عنصرًا أساسيًا لضمان الخضوع للمسؤولية القانونية وجذب الاستثمارات وتمكين منح أرصدة خفض الانبعاثات.

العوامل الرئيسية والمُمكِّنة لتقنية احتجاز الكربون وتخزينه في منطقة الشرق الأوسط وأفريقيا

العوامل الدافعة في منطقة الشرق الأوسط وأفريقيا	الدولة	عوامل التمكين
الالتزامات بالوصول إلى صافي انبعاثات صفرية أو تحقيق أهداف المساهمات المحددة وطنيًا التي تتطلب تخفيضًا كبيرًا للانبعاثات الكربونية الناتجة عن الأنشطة الصناعية التعرّض لمخاطر التداول في ظل تسعير الكربون الدولي (مثل آلية تعديل حدود الكربون الخاصة بالاتحاد الأوروبي) ضمان وصول المُنتجات التي تتسبب في انبعاثات كربونية عالية إلى الأسواق (مثل الأمونيا والفولاذ والأسمدة) تطوير وسائط التصدير منخفضة الانبعاثات الكربونية (مثل الأمونيا ووقود الطيران المُستدام ومشتقاتهم) محدودية بدائل التخفيف من الانبعاثات الكربونية في القطاعات التي يصعب فيها التخفيض (مثل الأسمنت والتكرير والبتروكيماويات والفولاذ) تعزيز الاستفادة من سعة تخزين ثاني أكسيد الكربون (من خلال مراكز ثاني أكسيد كربون إقليمية وخدمات تخزين عابرة للحدود) تحديد موقع سلاسل القيمة العالمية للطاقة النظيفة (الهيدروجين ووقود الطيران المُستدام ووقود الشحن الأخضر) بناء أنظمة بيئية صناعية محلية منخفضة الانبعاثات الكربونية (من خلال الاستثمار الأجنبي المباشر ونقل التكنولوجيا وتوطين القوى العاملة) توسيع نطاق تصنيع التقنيات منخفضة الانبعاثات الكربونية محليًا (من خلال الابتكار والتوطين)	**المملكة العربية السعودية**	• إطار نظام الاقتصاد الدائري للكربون • هدف احتجاز الكربون وتخزينه بسعة 44 مليون طن سنويًا بحلول عام 2035 • هدف أرامكو لاحتجاز الكربون وتخزينه بسعة 14 مليون طن سنويًا بحلول عام 2035 • دعم قوي من أرامكو ووزارة الطاقة لتطوير مراكز احتجاز الكربون واستخدامه وتخزينه (في الجبيل وينبع) • البحث والتطوير والمشاريع التجريبية: تقنيات الاحتجاز المباشر من الهواء وتمعدن ثاني أكسيد الكربون • التقاط الكربون وتخزينه في إطار تخفيض الانبعاثات الكربونية من قطاع الطاقة الوطني (محطات الغاز الجاهزة لاحتجاز الكربون وتخزينه) • إطلاق سوق إقليمية طوعية للكربون • الدور الريادي المشترك: المؤتمر الوزاري للطاقة الخاص باحتجاز الكربون واستخدامه وتخزينه ومبادرة ميشن اينوفيشن لإزالة ثاني أكيد الكربون وتحدي إدارة الكربون
	الإمارات العربية المتحدة	• هدف أدنوك لاحتجاز الكربون وتخزينه بسعة 10 ملايين طن سنويًا بحلول عام 2030 • هدف وطني لاحتجاز الكربون وتخزينه بسعة 43.5 مليون طن سنويًا إدراج تقنيات احتجاز الكربون • وتخزينه ضمن المرسوم بقانون اتحادي رقم 11 بشأن المناخ بوصفها تقنية للتخفيف من الانبعاثات • إنشاء سجل وطني إلزامي للكربون • برنامج الرصد والإبلاغ والتحقق بقيادة هيئة البيئة - أبوظبي • موقع تخزين ثاني أكسيد كربون حاصل على شهادة من ديت نورسك فيريتاس • إمكانية احتساب مشاريع احتجاز الكربون ضمن أرصدة الكربون (وفقًا للقانون رقم 67، المادة 10). • نظام مقترح لتحديد الحد الأقصى للانبعاثات والتداول وعقود الفروقات في سعر الكربون ولوائح نقل ثاني أكسيد الكربون وتخزينه
	قطر	• هدف قطر للطاقة لاحتجاز الكربون وتخزينه بسعة 11 مليون طن سنويًا بحلول عام 2035 • خارطة طريق لاحتجاز الكربون وتخزينه صادرة عن قطر للطاقة. • الإلزام الصادر من لجنة البيئة والطاقة القطرية بتطبيق تقنية احتجاز الكربون وتخزينه • النظام البيئي لسوق الكربون القائم على الترميز التابع لمركز قطر للمال • تطوير الهيدروجين منخفض الانبعاثات الكربونية
	عُمان	• إطار قانوني وتنظيمي مخطط لتقنية احتجاز الكربون وتخزينه • مركز عُمان للحياد الصفري • تخطيط البنية التحتية لنقل ثاني أكسيد الكربون • تطوير الهيدروجين منخفض الانبعاثات الكربونية
	مصر	• تطوير مراكز تخزين ثاني أكسيد الكربون • تخزين ثاني أكسيد الكربون عبر الحدود • موقع استراتيجي قريب من أوروبا وشرق البحر الأبيض المتوسط • الوصول إلى البنية التحتية لقناة السويس ومرافق الموانئ • تطوير أنظمة أرصدة الكربون المرتبطة بالتخزين
	نيجيريا	• يشكل كل من قانون تغير المناخ (2021) وقانون صناعة النفط (2021) أساسًا قانونيًا لتطبيق تقنية احتجاز الكربون وتخزينه. • تشمل خطة التحول في مجال الطاقة في نيجيريا تقنية احتجاز الكربون وتخزينه باعتبارها أداة رئيسية للتخفيف من الانبعاثات • إعداد أطلس تخزين ثاني أكسيد الكربون وإجراء تقييمات تشخيصية بدعم من مؤسسة التمويل الدولية (2023-2025) • تحديد 15 مشروعًا يُمكن تنفيذهم لتطبيق تقنية احتجاز الكربون وتخزينه وتصميم مشاريع تجريبية (بسعة 20 ألف طن سنويًا) قيد الدراسة. • إقامة شراكات مؤسسية مع برنامج الأمم المتحدة الإنمائي والطاقة المستدامة للجميع بخصوص نظام الرصد والإبلاغ والتحقق وبناء القدرات. • بروتوكولات العناية الواجبة قيد التطوير للتوافق مع معايير النزاهة الخاصة بمجلس النزاهة لسوق الكربون الطوعية /مبادرة سوق الكربون الطوعية
	كينيا	• التقييم الوطني لاحتجاز الكربون وتخزينه قيد التنفيذ في الوادي المُتصدع في كينيا (إمكانية تخزين البازلت) • مشاريع تجريبية للاحتجاز المباشر من الهواء تستهدف تخزين المعادن • لوائح تغير المناخ (أسواق الكربون) (2024) تنص على تخفيض انبعاثات المنشآت الصناعية، ما يُتيح احتجاز الكربون وتخزينه بصفته مشروع كربون غير بري • حشد القطاع الخاص من خلال إرشادات سوق الكربون الخاصة بالتحالف الكيني للقطاع الخاص - مجموعة البنك الدولي المُتعلقة بالشركات • البنك الدولي ومؤسسة التمويل الدولية يبنيان بنية تحتية محلية لسوق الكربون لجذب رأس المال الخاص لمشاريع المناخ
	جنوب أفريقيا	• يحدد قانون تغير المناخ (2024) موازنات الكربون وخطط التخفيف التي تسمح بدمج تقنية احتجاز الكربون وتخزينه • يترأس مجلس علوم الأرض عملية رسم خرائط المواقع وجاهزية التخزين في بيوملانجا • مشروع تخزين تجريبي بتمويل من البنك الدولي ينطلق في عام 2025 بدعم تنظيمي • يشرف مركز جنوب أفريقيا لاحتجاز الكربون وتخزينه التابع للمعهد الوطني الجنوب أفريقي لتطوير الطاقة يشرف على عملية بناء القدرات الوطنية وتنسيق الأنشطة المتعلقة بتقنية احتجاز الكربون وتخزينه • يُسمح باستخدام أرصدة الكربون الصادرة بموجب المادة 6 لخفض الالتزامات الضريبية على الكربون

للاطلاع على المزيد
يرجى الاطلاع على القائمة الكاملة للمراجع

التعاون العابر للحدود

تتزايد أهمية عمليات التعاون العابرة للحدود وضرورتها لتحقيق وفورات الحجم وتقليل التكاليف. وقد بدأت المملكة العربية السعودية في إجراء مناقشات مع اليونان لتصدير ثاني أكسيد الكربون المحتجز، بينما تدرس مصر ترتيبات مماثلة مع اليونان وقبرص (سيتي تايمز اليونانية، 2025؛ الحكومة المصرية، 2025).
وتركّز هذه المبادرات الثنائية على البنية التحتية المشتركة والخدمات اللوجستية المتعلقة بالشحن وإمكانات التخزين.

وتنص مذكرة التفاهم الموقعة بين عُمان وشركة Gasunie على دراسة إنشاء ممر محتمل لثاني أكسيد الكربون والهيدروجين يربط دول مجلس التعاون الخليجي بمراكز الطلب في أوروبا (أسبوع عُمان للاستدامة، 2025).
ويستلزم إنشاء هذا الممر ضخ استثمارات في مشاريع تسييل ثاني أكسيد الكربون والنقل البحري وأنظمة الرصد والإبلاغ والتحقق والتوافق التنظيمي مع أطر المحاسبة الكربونية للاتحاد الأوروبي. كما يتطلب الأمر جاهزية داخلية: إذ يجب على سلطنة عمان تسريع عملية تطوير مواقع التخزين المعتمدة وسجلات الكربون وتوافق السياسات العابرة للحدود من أجل تحويل طموحاتها المتعلقة بالتصدير إلى واقع عملي.

على الصعيد التجاري، استحوذت أدنوك على حصة تبلغ نسبتها 35% في مشروع إنتاج الهيدروجين واحتجاز الكربون وتخزينه التابع لشركة إكسون موبيل في تكساس، ما يمثل خطوة استراتيجية لدخولها في سلاسل القيمة العالمية للطاقة منخفضة الانبعاثات الكربونية (أدنوك، 2024أ). وقّعت أدنوك أيضًا شراكة مع شركة بترونـاس الماليزية لاستكشاف فرص تخزين ثاني أكسيد الكربون في المواقع البحرية، ما يعزز حضورها الدولي في مجال احتجاز الكربون وتخزينه (أدنوك، 2024b). في الآونة الأخيرة، وافقت شركة إكس آر جي، الذراع الاستثمارية لأدنوك، على دراسة إمكانية تنفيذ مشروع مشترك مع شركة ون بوينت فايف التابعة لشركة أوكسيدنتال بشأن مرفق ستراتوس للاحتجاز المباشر من الهواء في تكساس، وهو واحد من أكبر المرافق في العالم، ومُصمَّم لإزالة 500 ألف طن من ثاني أكسيد الكربون سنويًا (أوكسي، 2025).

وهذا يشير إلى توسع دور أدنوك في مجال البنية التحتية العالمية لإزالة الكربون ونشر تقنية الاحتجاز المباشر من الهواء. وبالتوازي مع ذلك، دعمت «أرامكو فنتشرز» أكبر مشروع تجريبي للاحتجاز المباشر من الهواء (DAC) في ألمانيا من خلال استثمار تأسيسي في شركة Ucaneo، بما يدعم توسيع نطاق تقنيات إزالة الكربون في أوروبا ويعزز تموضع المملكة العربية السعودية ضمن أسواق إزالة ثاني أكسيد الكربون (CDR) الناشئة (Aramco Ventures، 2025).

الريادة

تُثبت العديد من الدول دورها الريادي في نشر التقنيات الناشئة. حيث شغّلت شركتا أرامكو وسيمنز للطاقة أول وحدة للاحتجاز المباشر من الهواء في المملكة العربية السعودية في مدينة الظهران، ما يسلط الضوء على طموح المملكة في الريادة في مجال إزالة الكربون (رويترز، 2025). في الإمارات، نشرت شركة فيرتيغلوب وحدة احتجاز الكربون المعيارية "سايكلون سي سي" التابعة لشركة كاربون كلين في منطقة تعزيز، حيث تحتجز 10 أطنان من ثاني أكسيد الكربون يوميًا لخفض الانبعاثات الكربونية الناتجة عن إنتاج الأمونيا (زاوية، 2025أ).

استحوذت أرامكو على حصة قدرها 50% في شركة الهيدروجين الأزرق للغازات الصناعية في الجبيل، بالشراكة مع شركة إير برودكتس قدرة. وتهدف الشركة إلى إمداد السوق بالهيدروجين، بما في ذلك الهيدروجين الأزرق المنتج من الغاز الطبيعي مع احتجاز ثاني أكسيد الكربون وتخزينه، وذلك بالتنسيق مع أنشطة احتجاز الكربون وتخزينه التابعة لأرامكو، بما يدعم إنتاج الهيدروجين منخفض الانبعاثات الكربونية على نطاق واسع في مدينة الجبيل الصناعية (أرامكو، 2025).

تواصل شركة 44.01 العمانية الناشئة ريادتها في مجال تحويل ثاني أكسيد الكربون إلى معادن، من خلال تطبيق تقنية التخزين القائمة على صخور البيريدوتيت، وقد تلقت تمويلًا إضافيًا لعرض تقنيتها في هذا المجال (أدنوك، 2024ج؛ أسبوع عُمان للاستدامة، 2025). وتُبرز هذه الأمثلة كيف تدمج دول الشرق الأوسط وأفريقيا تقنيات احتجاز الكربون وتخزينه مع وقود منخفض الكربون مثل الهيدروجين والأمونيا ووقود الطيران المستدام (SAF)، بما يعزز أدوارها في إزالة الكربون إقليميًا وتصدير الوقود النظيف عالميًا.

تُعدّ عمليات التعاون العابرة للحدود ضرورية على نحوٍ متزايد لتحقيق وفورات الحجم وتقليل التكاليف.

التعاون العابر للحدود بين الحكومات

من	إلى	محور التركيز	الفئة
المملكة العربية السعودية	اليونان	تصدير ثاني أكسيد الكربون وتخزينه	التخزين
المملكة العربية السعودية	فرنسا	تقنيات احتجاز الكربون وتخزينه في القطاعات التي يصعب فيها تخفيض الانبعاثات (الأسمنت والطيران والنقل البحري والبتروكيماويات)	احتجاز الكربون واستخدامه وتخزينه/ إزالة الكربون الصناعي
مصر	اليونان	تصدير ثاني أكسيد الكربون والبنية التحتية المشتركة	التخزين
مصر	قبرص	تصدير ثاني أكسيد الكربون وتخزينه	التخزين
مصر	الإمارات العربية المتحدة	مسرع التحول الصناعي	إزالة الكربون الصناعي باستخدام تقنيات احتجاز الكربون وتخزينه واستخدامه
عُمان	هولندا	ممر الهيدروجين وثاني أكسيد الكربون	السياسة/البنية التحتية
عُمان	تركيا	التعاون في مجال احتجاز الكربون	تقنية احتجاز الكربون وتخزينه
عُمان	اليابان	إزالة الكربون الصناعي ونقل التكنولوجيا ومشاريع تجريبية لاحتجاز الكربون واستخدامه وتخزينه	احتجاز الكربون واستخدامه وتخزينه، القطاع الصناعي، اليابان

التعاون العابر للحدود بين الشركات

من	إلى	الدولة	محور التركيز	الفئة
شركة أوكيو لشبكات الغاز (عمان)	غازوني (هولندا)	هولندا	تقنيات احتجاز الكربون	السياسة/التكنولوجيا
أدنوك (الإمارات)	إكسون موبيل (الولايات المتحدة الأمريكية)	الولايات المتحدة	الهيدروجين منخفض الانبعاثات الكربونية واحتجاز الكربون وتخزينه	الهيدروجين / احتجاز الكربون وتخزينه
أدنوك (الإمارات)	بترونـاس (ماليزيا)	ماليزيا	تخزين ثاني أكسيد الكربون على اليابسة	التخزين
أدنوك (الإمارات)	أوكسيدنتال (الولايات المتحدة الأمريكية)	الولايات المتحدة	المشروع المشترك للاحتجاز المباشر من الهواء – مرفق ستراتوس	الاحتجاز المباشر من الهواء
أرامكو فينتشرز (المملكة العربية السعودية)	يوكانيو (ألمانيا)	ألمانيا	توسيع نطاق تقنية الاحتجاز المباشر من الهواء	الاحتجاز المباشر من الهواء
الشركة العمانية للغاز الطبيعي المسال (عمان)	كاناديفيا (اليابان)	اليابان	مشروع تجريبي لإنتاج الميثان باستخدام تقنية احتجاز الكربون وتخزينه واستخدام الهيدروجين الأخضر.	تحويل الطاقة إلى منتجات / احتجاز الكربون واستخدامه

للاطلاع على المزيد
يرجى الاطلاع على القائمة الكاملة للمراجع

الفرص المتاحة

تمتلك منطقة الشرق الأوسط وأفريقيا العديد من الفرص الفريدة التي تمكّنها من الريادة في نشر تقنيات احتجاز الكربون وتخزينه عالميًا. حيث تتمتع دول مثل السعودية والإمارات ونيجيريا وموزمبيق ومصر وجنوب أفريقيا بقدرات هائلة وغير مستغلة لتخزين الكربون جيولوجيًا، ما يوفر قاعدة أصول حيوية لإنشاء مراكز إقليمية. مع تزايد الطلب العالمي على المنتجات منخفضة الانبعاثات الكربونية وأرصدة الكربون، يمكن لدول منطقة الشرق الأوسط وأفريقيا الاستفادة من تقنيات احتجاز الكربون وتخزينه لضمان الوصول إلى الأسواق وتعزيز القدرة التنافسية للصادرات، خاصة في القطاعات التي تخضع لآليات تعديل حدود الكربون مثل آلية تعديل حدود الكربون في الاتحاد الأوروبي.

من الناحية التكنولوجية، تتمتع المنطقة بموقع متميز لتصبح رائدة في مجالات مثل الاحتجاز المباشر من الهواء والتمعدن وأنظمة الاحتجاز المعيارية. على سبيل المثال، تعمل شركة أوكتافيا كاربون الكينية على تطوير مشاريع تجريبية للاحتجاز المباشر من الهواء والتي تدمج الطاقة الحرارية الأرضية، ما يمثل نموذجًا يحتذى به لربط الطاقة النظيفة في السياقات الأفريقية (تمكين أفريقيا، 2024).

وبالمثل، يستكشف مشروع «نيوم» في المملكة العربية السعودية استخدام الخرسانة المعالجة بالكربون عبر تقنيات مثل CarbonCure، ما يبرز تطبيقات جديدة لاحتجاز الكربون واستخدامه في قطاع البيئة العمرانية (Gas World، 2024).

كما يتوسع نطاق مشاركة القطاع الخاص، حيث تُبدي شركات النفط الوطنية والجهات الفاعلة الصناعية والشركات الناشئة اهتمامًا متزايدًا بتقنية احتجاز الكربون وتخزينه باعتبارها حل لمواجهة التغير المناخي وتحقيق الفوائد التجارية.

علاوة على ذلك، تتيح المصالح العابرة للحدود من أوروبا وآسيا – بما في ذلك الدول التي ترغب في استيراد ثاني أكسيد الكربون أو الاستثمار في الهيدروجين منخفض الانبعاثات الكربونية – نماذج شراكة جديدة للمصدرين في منطقة الشرق الأوسط وأفريقيا. تؤهل هذه الاتجاهات المنطقة لتصبح ليس فقط منطقة لنشر تقنيات احتجاز الكربون وتخزينه، بل أيضًا مركزًا عالميًا لهذه التقنيات.

التحديات

على الرغم من هذا الزخم، لا تزال هناك العديد من التحديات. وإحدى العقبات الرئيسية عدم وجود أطر قانونية وتنظيمية مُطورة بالكامل لتخزين ثاني أكسيد الكربون ونقله والالتزامات المتعلقة به. رغم إحراز تقدم في هذا المجال، لا سيما في الإمارات وسلطنة عُمان، لا تزال العديد من الدول تفتقر إلى الوضوح بشأن منح التراخيص وحقوق إمكانية الوصول والإشراف على المدى الطويل.

لا يزال ارتفاع النفقات الرأسمالية الأولية يُشكّل عائقًا، لا سيما بالنسبة لخطوط أنابيب ثاني أكسيد الكربون والبنية التحتية لتخزينه. ومع محدودية التمويل العام ومؤشرات تسعير الكربون، عادةً ما تُواجه المشاريع صعوبة في جذب الاستثمارات. سيتطلب توسيع نطاق تقنية احتجاز الكربون وتخزينه من المرحلة التجريبية إلى المستوى التجاري الحد من مخاطر الاستثمار من خلال إقامة شراكات بين القطاعين العام والخاص والتمويل بشروط ميسرة وإعداد نماذج إيرادات أكثر وضوحًا.

علاوة على ذلك، لا تزال معظم تقنيات احتجاز الكربون وتخزينه في المنطقة في مرحلة التجريب. ويتطلب النشر التجاري الأوسع نطاقًا إجراء عمليات تحقق واسعة النطاق تحت سطح الأرض ووضع أنظمة قوية للرصد والإبلاغ والتحقق ومعايير شفافة لاحتساب أرصدة الكربون. لا تزال أسواق الكربون الطوعية أسواق ناشئة ولا يوجد بها حوكمة قوية وثقة متبادلة، وقد لا يبرر تسعير أرصدة الكربون تكلفة عملية الاحتجاز.

على الصعيد المؤسسي، يُعدّ التحديد الواضح للأدوار وتبسيط إجراءات الموافقات والاستقلال الإقليمي في التنفيذ أمرًا بالغ الأهمية لمنع التباطؤ البيروقراطي.

مع ذلك، وبفضل الدعم السياسي القوي وتوسيع نطاق البنية التحتية والرغبة في الابتكار، أصبحت تقنية احتجاز الكربون وتخزينه جزءًا لا يتجزأ من مستقبل الطاقة والمناخ في منطقة الشرق الأوسط وشمال أفريقيا. اكتسبت الانتقال من وضع الاستراتيجيات إلى مرحلة التنفيذ زخمًا متزايدًا، ورغم استمرار بعض التحديات — بما في ذلك ارتفاع المتطلبات الرأسمالية، وتشتّت السياسات، ومحدودية البنية التحتية — فإن المنطقة تتمتع بمقومات قوية تؤهلها لتوسيع نطاق النشر يُعدُّ الاستقلال الاستراتيجي والتعاون الدولي والريادة التكنولوجية عوامل حيوية للحفاظ على هذا التقدم وترسيخ مكانة منطقة الشرق الأوسط وشمال أفريقيا باعتبارها مركز عالمي رائد في مجال احتجاز الكربون وتخزينه.

مركز عمان للحياد الصفري

يتولى مركز عمان للحياد الصفري مسؤولية إعداد الخطة الوطنية للتحويل إلى الحياد الصفري وتحديثها بالتنسيق مع الجهات المعنية. وانطلاقًا من التزام صاحب الجلالة السلطان هيثم بن طارق بالوصول إلى الحياد الصفري للانبعاثات الكربونية بحلول عام 2050، يُراقب المركز المشاريع ويدعم الجهات المعنية ويعتمد أفضل الممارسات والتقنيات العالمية.

يُعتبر احتجاز الكربون وتخزينه ركيزة أساسية في مسار سلطنة عمان نحو تخفيض الانبعاثات الكربونية، لا سيما في القطاعات التي يصعب فيها تخفيض الانبعاثات مثل النفط والغاز ومحطات التكرير والإسمنت والصناعات الثقيلة. يعمل المركز على تطوير تقنيات احتجاز الكربون وتخزينه من خلال تسهيل الأبحاث وتمكين الأطر التنظيمية وتشجيع الاستثمار في المشاريع واسعة النطاق، مستفيدًا من الإمكانات الكبيرة لسلطنة عمان في مجال التخزين الجيولوجي.

يتولى مركز عمان للحياد الصفري مسؤولية تحديث استراتيجية الحياد الصفري العمانية 2050 من خلال وضع نهج مرحلي يشمل التقييمات الأساسية وخرائط الطريق القطاعية والسياسات والتمويلات الداعمة. تُعد تقنية احتجاز الكربون وتخزينه جزءًا لا يتجزأ من هذه المسارات، حيث أُدرجت مراحل التنفيذ الرئيسية والأهداف المتعلقة بالسعة في المخطط الوطني، بينما يُنسق المركز المشاريع التجريبية والتجارية على حد سواء، ويضمن دعمها بآليات تنظيمية ورقابية وتمويلية مناسبة.

يتولى المركز مسؤولية تنسيق جهود تخفيض الانبعاثات الكربونية عبر مختلف القطاعات من خلال منصة عُمان للحياد الصفري (ميزان) التي توفر خدمات مراقبة الانبعاثات والتنبؤ بها والإبلاغ عنها. ويضمن ذلك تقدم نشر تقنيات احتجاز الكربون وتخزينه بالتوازي مع تدابير التخفيف الأخرى مثل الهيدروجين ومصادر الطاقة المتجددة.

كما يتولى مركز عمان للحياد الصفري عملية تطوير سوق الكربون ويدير عملية إصدار الشهادات والسجل الوطني وأطر التداول. ومن خلال إعطاء الأولوية لمشاريع احتجاز الكربون وتخزينه الفعالة من حيث التكلفة وإشراك المستثمرين العالميين، يجذب المركز التمويلات ويعزز عملية توطين التكنولوجيا ويبني الخبرات المحلية، مما يضع سلطنة عمان في مكانة رائدة على المستوى الإقليمي في مجال تطوير الصناعات منخفضة الانبعاثات الكربونية.

مركز احتجاز الكربون وتخزينه في الجبيل - المملكة العربية السعودية

يُعدّ مركز احتجاز الكربون وتخزينه في الجبيل أحد أكثر مشاريع تخزين الكربون طموحًا في المنطقة والعالم، حيث يهدف إلى احتجاز وتخزين ما يصل إلى 9 ملايين طن سنويًا بحلول عام 2028. تترأس شركة أرامكو هذا المشروع (بحصة نسبتها 60%)، بالشراكة مع شركتي إس إل بي وليندە بصفتهما شريكين استراتيجيين (بنسبة 20% لكل منهما). وُقّعت اتفاقية المساهمين في أواخر عام 2024، بعد التوقيع على مذكرة تفاهم أولية في عام 2022، مما يمثل خطوة مهمة في جدول أعمال المملكة المُتعلق بإدارة الكربون.

يجمع هذا المشروع ثاني أكسيد الكربون من مصادر متعددة: حوالي 6 ملايين طن سنويًا من عمليات معالجة الغاز التابعة لأرامكو، و3 ملايين طن سنويًا من المنشآت الصناعية المصدّرة للانبعاثات المجاورة، مع نقله إلى التكوينات الصخرية المالحة البرية لتخزينه جيولوجيًا بشكل دائم. يتضمن المركز مرافق لتجفيف ثاني أكسيد الكربون وضغطه، وبنية تحتية لخطوط الأنابيب، إضافة إلى نظام متكامل للرصد والإبلاغ والتحقق (MRV) يتماشى مع المعايير العالمية. وقد اكتملت مرحلة التصميم الهندسي الأولي وتطوير الموقع والأعمال التمهيدية، ويجري حاليًا ترسية حزم مشاريع الهندسة والمشتريات والإنشاء الرئيسية الأخرى.

إلى جانب حجمه الكبير، يمثل هذا المشروع نموذجًا قابلًا للتكرار للبنية التحتية المشتركة لاحتجاز الكربون وتخزينه في المنطقة، ما يسمح بالتنسيق بين القطاعات المختلفة، وأطر المسؤولية طويلة الأجل والريادة على المستوى الإقليمي في نشر إدارة الكربون.

آسيا والمحيط الهادئ والهند

الدور المحوري لاحتجاز الكربون وتخزينه في خلق الفرص والتحديات

يؤدي النمو الاقتصادي السريع في الاقتصادات الناشئة في منطقة آسيا والمحيط الهادئ إلى زيادة الطلب على مصادر الطاقة الكهربائية لتزويد القطاع والمدن بالطاقة. يتزايد التعاون بين القطاعين العام والخاص لإيجاد طرق لجعل تقنيات احتجاز الكربون وتخزينه أكثر جاذبية للاستثمار. تعمل الحكومات على وضع اللوائح ودعم الدراسات ومناقشة عملية نقل ثاني أكسيد الكربون عبر الحدود من أجل تخزينه بشكل دائم. تقيم الشركات مشاريع مشتركة وتطوّر مشاريع وتبدأ تشغيل أولى مرافق احتجاز الكربون وتخزينه التجارية في المنطقة، ومع ذلك لا يزال التقدم متفاوت ولا تزال الجدوى الاقتصادية لتقنية احتجاز الكربون وتخزينه تواجه تحديات، ما يُعرّض التزامات الوصول إلى الحياد الصفري للمخاطر.

التقدم المُحرز - كان عام 2025/2024 عامًا مهمًا لتقنية احتجاز الكربون وتخزينه في منطقة آسيا والمحيط الهادئ، حيث بدأ تشغيل ثالث مرفق لهذه التقنية في المنطقة، ويوجد مرفقان آخريان قيد الإنشاء، إضافة إلى تحقيق تطورات تنظيمية إيجابية كبيرة في أستراليا وإندونيسيا وماليزيا.

التعاون - تُعد عملية نقل ثاني أكسيد الكربون وتخزينه العابرة للحدود عنصرًا أساسيًا لنجاح نشر تقنية احتجاز الكربون وتخزينه، وهو أمر ضروري لتحقيق التزامات الحياد الصفري. وقد بدأت الحكومات في التفاوض على اتفاقيات للسماح بهذا التداول، وتقيم الشركات مشاريع مشتركة وتُبرم مذكرات تفاهم بهدف المشاركة في هذه السلسلة القيّمة.

التحديات - يجري حاليًا تطوير الدفعة الأولى من مرافق احتجاز الكربون وتخزينه الأقل تكلفة المرتبطة بإنتاج الغاز. ومع ذلك، لا يزال الدعم السياسي غير كافٍ لتحفيز الاستثمار في الدفعة التالية من المشاريع الأعلى تكلفة.

الزخم - على الرغم من التحديات، لا تزال مشروعات احتجاز الكربون وتخزينه والدراسات والمبادرات ذات الصلة تتوالى، في ظل تنامي فهم الحكومات والشركات للفرص الاقتصادية والبيئية التي تتيحها تقنيات احتجاز الكربون وتخزينه.

حالة المرفق

مرحلة تطوير مبكرة	35
مرحلة تطوير متقدمة	14
قيد الإنشاء	2
قيد التشغيل	3

*** توصلت شركة بي تي تي للاستكشاف والإنتاج إلى قرار الاستثمار النهائي لمشروع أرثيت لاحتجاز الكربون وتخزينه بعد الموعد النهائي لإعداد هذا التقرير. يُصبح مشروع أرثيت قيد الإنشاء اعتبارًا من شهر أكتوبر، إلا أن إحصاءات المرفق الواردة في هذا التقرير تُصنف مشروع أرثيت ضمن مرحلة التطوير المتقدم اعتبارًا من شهر يوليو.**

استمرت الجهود الرامية إلى إنشاء سلاسل قيمة عابرة للحدود في مجال احتجاز الكربون وتخزينه في منطقة آسيا والمحيط الهادئ على مدار الإثني عشر شهرًا الماضية. وتحرز الحكومات والقطاعات في الدول ذات السعة التخزينية المحدودة، مثل اليابان وكوريا الجنوبية وسنغافورة، تقدمًا في إجراء دراسات الجدوى وإبرام اتفاقيات التعاون مع الدول المجاورة. بالنسبة للدول التي يُحتمل أن تُقدّم خدمات التخزين على المستوى الإقليمي، مثل إندونيسيا وماليزيا وتايلاند وأستراليا، فتواصل ترسيخ مكانتها باعتبارها مراكز تخزين، وذلك من خلال وضع أطر تنظيمية وأنظمة منح تراخيص ونماذج تجارية قائمة أو قيد التطوير. ومع تطور الأطر القانونية واللوجستية والمالية، تضع المنطقة بسرعة الأسس اللازمة لنقل ثاني أكسيد الكربون وتخزينه عبر الحدود.

تُعدُّ شركات النفط والغاز، إضافة إلى شركة لتوليد الطاقة الحرارية الأرضية، من أوائل الشركات الرائدة في هذا المجال بالمنطقة.
في أستراليا، تُخزن مرافق غورغون التابعة لشركة شيفرون وموموبا التابعة لشركة سانتوس 3.3 مليون طن سنويًا من ثاني أكسيد الكربون. في نيوزيلندا، تُعيد محطة نغاوها لتوليد الحرارية الأرضية حقن ما يصل إلى 120 ألف طن سنويًا من ثاني أكسيد الكربون. تعمل شركات بتروناس وبي بي وبي تي تي للاستكشاف والإنتاج على إنشاء مرافق لاحتجاز الكربون وتخزينه، وهي كاساواري في ماليزيا وتانغوه في إندونيسيا وأرثيت في تايلاند، على التوالي. يوجد 54[1] مرفق إضافي في مراحل مبكرة من التطوير في جميع أنحاء منطقة آسيا والمحيط الهادئ[2]، ما عدا المرافق المحلية اليابانية والصينية التي يتناولها هذا التقرير في أقسام أخرى. يتزايد الزخم باستمرار مع تزايد الاعتراف بأهمية تقنية احتجاز الكربون وتخزينه لتحقيق أهداف الحياد الصفري، كما يتضح من إدراج هذه التقنية في السياسات والمُخططات واللوائح الوطنية. ومع ذلك، يبقى التحدي الأصعب الذي لم يتم التغلب عليه بعد هو جعل المزيد من مشاريع احتجاز وتخزين الكربون مُجدية من الناحية الاستثمارية.

التحديات

ربما تكون المشكلة الأكثر إلحاحًا التي تواجه تقنيات احتجاز الكربون وتخزينه في المنطقة هي أن الحوافز السياسية الحالية غير كافية لتوفير الجدوى الاقتصادية اللازمة للاستثمار، حيث أن الحالات الخاصة التي مكّنت من الاستثمار في المرافق العاملة أو قيد الإنشاء ليست قابلة للتطبيق على نطاق واسع. بدون وضع سياسات أكثر فعالية، ليس مرجحًا اتخاذ قرارات استثمارية مالية إيجابية إضافية في المنطقة، وهذا يجعل تحقيق التزامات الحياد الصفري أمرًا بعيد المنال.

على الرغم من التطور السريع للوائح تقنيات احتجاز الكربون وتخزينه في إندونيسيا وماليزيا التي تُعد شرطًا أساسيًا للاستثمار، إلا أنه خارج أستراليا، تظل لوائح هذه التقنيات غير مكتملة أو غير موجودة، ولا يُسمح عمومًا بالتخزين الجيولوجي لثاني أكسيد الكربون خارج مناطق منح تراخيص التنقيب عن النفط أو الغاز.

يعرف عدد قليل نسبيًا من المسؤولين الحكوميين في جنوب شرق آسيا تقنية احتجاز الكربون وتخزينه، ما قد يبطئ عملية وضع السياسات والأطر التنظيمية. تشعر المجموعات المحلية والبيئية التي لا تدرك المتطلبات التنظيمية الصارمة التي ستطبق على عملية نقل ثاني أكسيد الكربون عبر الحدود وتخزينه جيولوجيًا بالقلق من أن يمثل استيراد ثاني أكسيد الكربون شكلًا من أشكال إلقاء النفايات، على غرار إلقاء النفايات الأجنبية الأخرى الذي كان يمثل مشكلة في الماضي. لذا، توجد حاجة ماسة للتواصل مع هذه الجهات المعنية وتزويدها بالمعلومات التي تعالج مخاوفها.

في نهاية المطاف، لم تُجرَ مفاوضات بعد على إبرام اتفاقيات ثنائية بين الدول المصدرة والمستوردة لثاني أكسيد الكربون، وهي اتفاقيات ضرورية لتمكين نقل ثاني أكسيد الكربون وتخزينه عبر الحدود.

الاستدامة

تُعد تقنية احتجاز الكربون وتخزينه ضرورية للوصول إلى الحياد الصفري عالميًا، ولها دور بارز بشكل خاص في الاقتصادات سريعة النمو مثل اقتصادات جنوب شرق آسيا والهند. ويقع حوالي ثلثي سعة ثاني أكسيد الكربون المطلوب احتجازها وتخزينها حتى عام 2050 في اقتصادات الدول الناشئة والنامية (وكالة الطاقة الدولية، 2023). تتميز هذه الدول بنمو قوي في الطلب على الطاقة وتزايد استهلاك الطاقة الأحفورية.

تسهم تقنية احتجاز الكربون وتخزينه في خفض تكلفة تحقيق التزامات الحياد الصفري بمبالغ تصل إلى عدة تريليونات من الدولارات[3] في جميع أنحاء دول منطقة آسيا والمحيط الهادئ مع الحفاظ على أمن الطاقة واستمرار النمو الاقتصادي.

تمكّن تقنية احتجاز الكربون وتخزينه من تحقيق تحول عادل للمجتمعات المعتمدة على الصناعات الثقيلة من خلال التخفيف من انبعاثاتها، كما تسهل إنشاء صناعات جديدة منخفضة الانبعاثات مثل خدمات نقل الكربون وتخزينه وإنتاج الهيدروجين منخفض الانبعاثات الكربونية والأمونيا والأسمدة.

من المتوقع أن تجذب مراكز احتجاز الكربون وتخزينه بمجرد إنشائها المزيد من الاستثمارات في العقود المقبلة من قطاعات مثل الإسمنت والفولاذ وتوليد الطاقة التي تتطلب خدمات إدارة ثاني أكسيد الكربون. وتُعد هذه المزايا الاقتصادية والاجتماعية والمتعلقة بالاستدامة هي السبب وراء دعم حكومات ماليزيا وإندونيسيا وتايلاند لعمليات تطوير مشاريع احتجاز الكربون وتخزينه.

السياسة

تعمل الحكومتان الإندونيسية والماليزية على سنّ تشريعات لتمكين تخزين ثاني أكسيد الكربون المنتج محليًا والمستورد. وبالمثل اتخذت الحكومة الأسترالية عدة خطوات منذ عام 2023 لوضع نظام لنقل وتخزين ثاني أكسيد الكربون عبر الحدود، مثل إعلان التطبيق المؤقت لتعديل عام 2009 على بروتوكول لندن بتاريخ 07 نوفمبر 2024 (المعهد العالمي لاحتجاز الكربون وتخزينه، 2024).

أصدرت وزارة الطاقة والثروة المعدنية الإندونيسية اللائحة رقم 16 لسنة 2024 بشأن تنظيم تخزين الكربون في مناطق منح تصاريح تخزين الكربون بتاريخ 24 ديسمبر 2024. وتنص اللائحة على التصريح باستكشاف موارد التخزين الجيولوجي وتخزين ثاني أكسيد الكربون ونقله بشكل مستقل عن أنشطة استكشاف/إنتاج الهيدروكربونات (درابس وإينواغي، 2025).

بتاريخ 25 مارس 2025، أصدر مجلس الشيوخ الماليزي قانون احتجاز الكربون واستخدامه وتخزينه، والذي يُرسي إطارًا تنظيميًا شاملًا لجميع مراحل دورة حياة احتجاز الكربون وتخزينه، بالإضافة إلى نقل ثاني أكسيد الكربون واستيراده (تشونغ وثاني، 2025)، ولا يسري هذا القانون على ولايتي صباح وسرواك. لم تُصدر ولاية صباح لوائح خاصة باحتجاز الكربون وتخزينه، بينما توجد لوائح سارية في ولاية سرواك. تعمل الحكومة الماليزية حاليًا على إعداد اللوائح التنفيذية بموجب قانون احتجاز الكربون واستخدامه وتخزينه.

في سبتمبر 2024، أدرج مكتب كفاءة الطاقة في الهند تقنيات احتجاز الكربون واستخدامه وتخزينه ضمن نطاق مُخطط تداول أرصدة الكربون في الهند (مكتب كفاءة الطاقة، 2024). وبمجرد نشر المنهجية المعتمدة، سيُعترَف بعملية الحد من الانبعاثات الناتجة عن استخدام هذه التقنيات في الهند من خلال مُخطط تداول أرصدة الكربون. ويأتي هذا الإجراء بعد إعلان الحكومة الهندية في أغسطس 2024 عن اعتزامها إعداد مبادرة لاحتجاز الكربون واستخدامه وتخزينه لتعزيز البحث والتطوير والنشر التجاري لهذه التقنيات. ومن المتوقع أن تشمل هذه المبادرة مجموعة من السياسات الداعمة للتمكين من تطبيق تقنيات احتجاز الكربون وتخزينه في القطاعات الرئيسية، بما في ذلك الفولاذ والأسمنت والنفط والغاز والبتروكيماويات والأسمدة (أخبار تغير المناخ، 2024).

في مايو 2025، أصدرت نيوزيلندا إطارًا سياسيًا جديدًا بعنوان «حزمة تمكين احتجاز الكربون واستخدامه وتخزينه» (Enabling CCUS)، والذي يقدم إرشادات تنظيمية وحوافز للاستثمار في تقنية احتجاز الكربون ويهدف إلى إدراج تقنية احتجاز الكربون وتخزينه في مُخطط تداول الانبعاثات المحلي (جورج، 2025).

استمر التعاون الدولي لإنشاء سلاسل قيمة عابرة للحدود في مجال احتجاز الكربون وتخزينه في جنوب شرق آسيا خلال عام 2025 من خلال المناقشات التي أجريت بين حكومات أستراليا وإندونيسيا واليابان وماليزيا وسنغافورة وكوريا الجنوبية. قد وقعت شركة بتروناس مذكرات تفاهم مع تسع دول، من بينها اليابان وكوريا الجنوبية، لتخزين انبعاثاتها الزائدة من ثاني أكسيد الكربون في مواقع حقول الوقود الأحفوري المستنفدة قبالة سواحل شبه جزيرة ماليزيا وسرواك (بودجن، 2025).

في أستراليا، وقّعت شركة رويال فوباك مذكرة تفاهم مع حكومة الإقليم الشمالي في أغسطس لإنشاء محطة لاستيراد ثاني أكسيد الكربون في ميناء داروين، بهدف بدء العمليات في عام 2030 (إيه بي سي نيوز، لا يوجد تاريخ). في يناير، وقّعت وزارة تنسيق الشؤون الاقتصادية الإندونيسية وشركة إكسون موبيل مذكرة تفاهم لتطوير قطاع البتروكيماويات وتطوير تقنية احتجاز الكربون وتخزينه باستثمار يُقدر بحوالي 10 مليارات دولار أمريكي.

[1] ما عدا المشاريع المُعلن عنها لكن لم تبدأ دراسات الجدوى الخاصة بها بعد.

[2] بما في ذلك الهند.

[3] تحليل المعهد العالمي لاحتجاز الكربون وتخزينه باستخدام نموذج تحسين الاقتصاد العالمي للوصول إلى الحياد الصفري: القيمة الحالية حتى عام 2065.

التمويل

تتطلب مرافق احتجاز الكربون وتخزينه استثمارات رأسمالية ضخمة، حيث تصل تكلفتها عادةً إلى مئات الملايين وتزيد عن مليارات الدولارات، وذلك حسب حجمها، ولذلك يجب أن تحقق عائدًا إيجابيًا للمستثمر. يوجد ست مرافق لاحتجاز الكربون وتخزينه في أستراليا وجنوب شرق آسيا حظيت بموافقة استثمارية، وجميعها مرتبطة بإعادة حقن الغاز. وتعمل حاليًا مرافق غورغون وموموبا ونغاوها لتوليد للطاقة الحرارية الأرضية، بينما لا تزال مرافق كاساواري وتانغوه وأرثيت قيد الإنشاء. ومن شروط الموافقة على مشروعي غورغون وكاساواري، وهما مشروعان رئيسيان للغاز الطبيعي المسال، استخدام تقنية احتجاز الكربون وتخزينه لاحتجاز وتخزين ثاني أكسيد الكربون المستخرج من المكامن. بعد دراسة النفقات الرأسمالية والتشغيلية الإضافية الناتجة عن متطلب استخدام هذه التقنية لخفض انبعاثات ثاني أكسيد الكربون، أصبح بالإمكان استمرار الاستثمار في مشاريع الغاز الطبيعي المسال هذه والبنية التحتية المرتبطة بها لاحتجاز الكربون وتخزينه.

أصبح بالإمكان الاستثمار في مشروعي تانغو وموموبا بفضل عوامل زيادة القيمة الإضافية. سيؤدي حقن ثاني أكسيد الكربون في تانغوه إلى إنتاج كميات غاز إضافية لبيعها من خلال الاستخلاص المعزز للغاز. أما في موموبا، يؤدي احتجاز ثاني أكسيد الكربون وتخزينه إلى إنشاء وحدات أرصدة الكربون الأسترالية، والتي يمكن بيعها أو استخدامها لتقليل انبعاثات شركة سانتوس في مرافقها الأخرى، شريطة مراقبة عملية تخزين ثاني أكسيد الكربون والتحقق منها. في كلتا الحالتين، وفرت عوامل زيادة القيمة الإضافية هذه عائدًا كافيًا لتمكين الاستثمار في مرفق احتجاز الكربون وتخزينه.

يخطط مطورو مشاريع تخزين ثاني أكسيد الكربون في المنطقة لتحقيق إيرادات من خلال تقديم خدمات تخزين ثاني أكسيد الكربون مقابل رسوم. تُخزن المشاريع الأكثر تقدمًا، مثل كاساواري وموموبا، ثاني أكسيد الكربون الخاص بها في البداية، ولكنها تعتزم استخدام السعة الفائضة لتخزين ثاني أكسيد الكربون التابع لجهات خارجية.

* توصلت شركة بي تي تي للاستكشاف والإنتاج إلى قرار الاستثمار النهائي لمشروع أرثيت لاحتجاز الكربون وتخزينه بعد الموعد النهائي لإعداد هذا التقرير. يُصبح مشروع أرثيت قيد الإنشاء اعتبارًا من شهر أكتوبر، إلا أن إحصاءات المرفق الواردة في هذا التقرير تُصنف مشروع أرثيت ضمن مرحلة التطوير المتقدم اعتبارًا من شهر يوليو.

التقنية

يُعدّ نقل ثاني أكسيد الكربون بالسفن من مراكز الاحتجاز إلى مشغلي مرافق التخزين أمرًا بالغ الأهمية لتحقيق النشر الأمثل لتقنية احتجاز الكربون وتخزينه في منطقة آسيا والمحيط الهادئ. يجري تصميم السفن سفن أكبر حجمًا ملائمة لمسافات الشحن الطويلة، بسعات تصل إلى 80 ألف متر مكعب، لتكون مناسبة بشكل أكبر لمسافات الشحن الطويلة في سوق منطقة آسيا والمحيط الهادئ.

في يونيو 2025، حصلت شركتا ميتسو او.اس.كى لاينز وميتسوبيشي لبناء السفن على موافقة من هيئة التصنيف البحرية كلاس أن كي لتطوير أول ناقلة في العالم تجمع بين نقل ثاني أكسيد الكربون المسال والميثانول. ستنقل السفينة ثاني أكسيد الكربون المحتجز إلى مصنع لإنتاج الميثانول الاصطناعي في رحلة الذهاب، ثم تحمل الميثانول الاصطناعي في رحلة العودة (سافيدس، 2025)، ويؤدي هذا النهج القائم على الشحنة المزدوجة إلى إلغاء رحلات العودة الفارغة، ما يعزز كفاءة النقل بشكل كبير مقارنة باستخدام سفن مخصصة لنوع واحد من الشحنات.

آبار حقن ومراقبة ثاني أكسيد الكربون في مشروع غورغون، غرب أستراليا، الصورة مقدمة من شركة شيفرون.

مشروع مومبا لاحتجاز الكربون وتخزينه

بدأ مشروع مومبا لاحتجاز وتخزين ثاني أكسيد الكربون التابع لشركتي سانتوس وبيتش إنرجي في حوض كوبر الأسترالي باحتجاز وتخزين 1.7 مليون طن سنويًا من ثاني أكسيد الكربون من محطة مومبا للغاز في أكتوبر 2024. بتكلفة إجمالية تقل عن 30 دولارًا أمريكيًا للطن، يُعد مشروع مومبا مشروعًا منخفض التكلفة ومثال واضح على كيفية تنفيذ تقنية احتجاز الكربون وتخزينه ضمن نموذج تجاري مدعوم بأطر سياسات فعالة (مشروع مومبا لاحتجاز الكربون وتخزينه، لا يوجد تاريخ).

يجري فصل غاز ثاني أكسيد الكربون عن الميثان باستخدام وحدات إزالة الغازات الحمضية التقليدية من نوع بنفيلد، وعادةً ما يُطلَق غاز ثاني أكسيد الكربون هذا في الغلاف الجوي، ولكن في مشروع مومبا يُحتجز. تُزال المياه من تيارات ثاني أكسيد الكربون قبل ضغطها إلى حوالي 14 ميجا باسكال (ما يعادل تقريبًا 140 ضعف الضغط الجوي) في ضاغط رباعي المراحل. تُستخدم الحرارة المهدرة من الضاغط لتوليد البخار الذي يُشغل توربينًا لتوليد الكهرباء المستخدمة في محطة مومبا. يُنقل غاز ثاني أكسيد الكربون المضغوط عبر خط أنابيب بطول 50 كيلومترًا إلى آبار الحقن حيث يُحقن في خزان غاز سترزيليكي-مارابوكا المستنفد للتخزين الجيولوجي الدائم، على عمق 1.8 كيلومتر تحت سطح الأرض.

تمتلك شركة سانتوس حصة قدرها 66.7% في مشروع مومبا لاحتجاز الكربون وتخزينه، بينما تمتلك شركة بيتش إنرجي الحصة المتبقية، وبلغت التكلفة الرأسمالية الإجمالية للمشروع حوالي 250 مليون دولار أمريكي. مشروع مومبا لاحتجاز الكربون وتخزينه مسجل لدى هيئة تنظيم الطاقة النظيفة الأسترالية ويطبق منهجية تقنية احتجاز الكربون وتخزينه الخاصة بالهيئة لإنتاج وحدات أرصدة الكربون الأسترالية، والتي يمكنه إنتاجها لمدة تصل إلى 25 عامًا. اعتبارًا من يوليو 2025، كانت وحدات أرصدة الكربون الأسترالية تُتداول بسعر 35 دولارًا أستراليًا (تحديثات أسعار الكربون والأسعار الناتجة عن تطور البيئة، لا يوجد تاريخ).

يُعد مشروع موومبا لاحتجاز الكربون وتخزينه مشروعًا حيويًا لخطط شركتي سانتوس وبيتش إنرجي المتعلقة بخفض الانبعاثات والوفاء بالتزاماتهما بموجب آلية الحماية الأسترالية. وتتطلب هذه الآلية من الشركات التي تصدر انبعاثات سعتها 100 ألف طن من مكافئ ثاني أكسيد الكربون سنويًا خفض انبعاثاتها إلى ما دون المستوى المرجعي بنسبة 4.9% سنويًا، وذلك في كل عام خلال الفترة من 2023 إلى 2030.

لم تكن الحكومة الأسترالية قد أعلنت عن معدلات خفض الانبعاثات للفترة 2030–2035 عند كتابة هذا التقرير. قد ساهمت هذه العوامل مُجتمعة في تكوين مبرر تجاري للمشروع، تتضمن كيفية تحقيق السياسات واللوائح الحكومية خفضًا ملموسًا في الانبعاثات من خلال استثمارات القطاع الخاص في تقنية احتجاز الكربون وتخزينه.

700,000

نفس مُعدل خفض الانبعاثات الناتج عن إزالة 700,000 سيارة تعمل بالبنزين من الطرق سنويًا[1].

28%

ما يعادل حوالي 28% من إجمالي خفض الانبعاثات في قطاع الكهرباء في أستراليا خلال عام 2023.

1.7 مليون طن سنويًا

تبلغ سعة تخزين المرحلة الأولى من مشروع مومبا لاحتجاز الكربون وتخزينه 1.7 مليون طن سنويًا من ثاني أكسيد الكربون.

مشروع مومبا لاحتجاز الكربون وتخزينه، أستراليا. الصورة مقدمة من شركة شيفرون

استنادًا إلى عامل انبعاثات مختلط يأخذ في الاعتبار كل من سيارات نقل الركاب الخفيفة والثقيلة، والذي يُحتسب وفقًا لإحصاءات المسافة المقطوعة سنويًا (المكتب الأسترالي للإحصاء – الدراسة الاستقصائية لاستخدام المركبات الآلية في أستراليا 2020).

الصين

دخول مرحلة جديدة يُرسي ركائزها مشروع إنشاء أكبر محطة طاقة تعمل بالفحم في العالم تستخدم تقنية احتجاز الكربون وتخزينه.

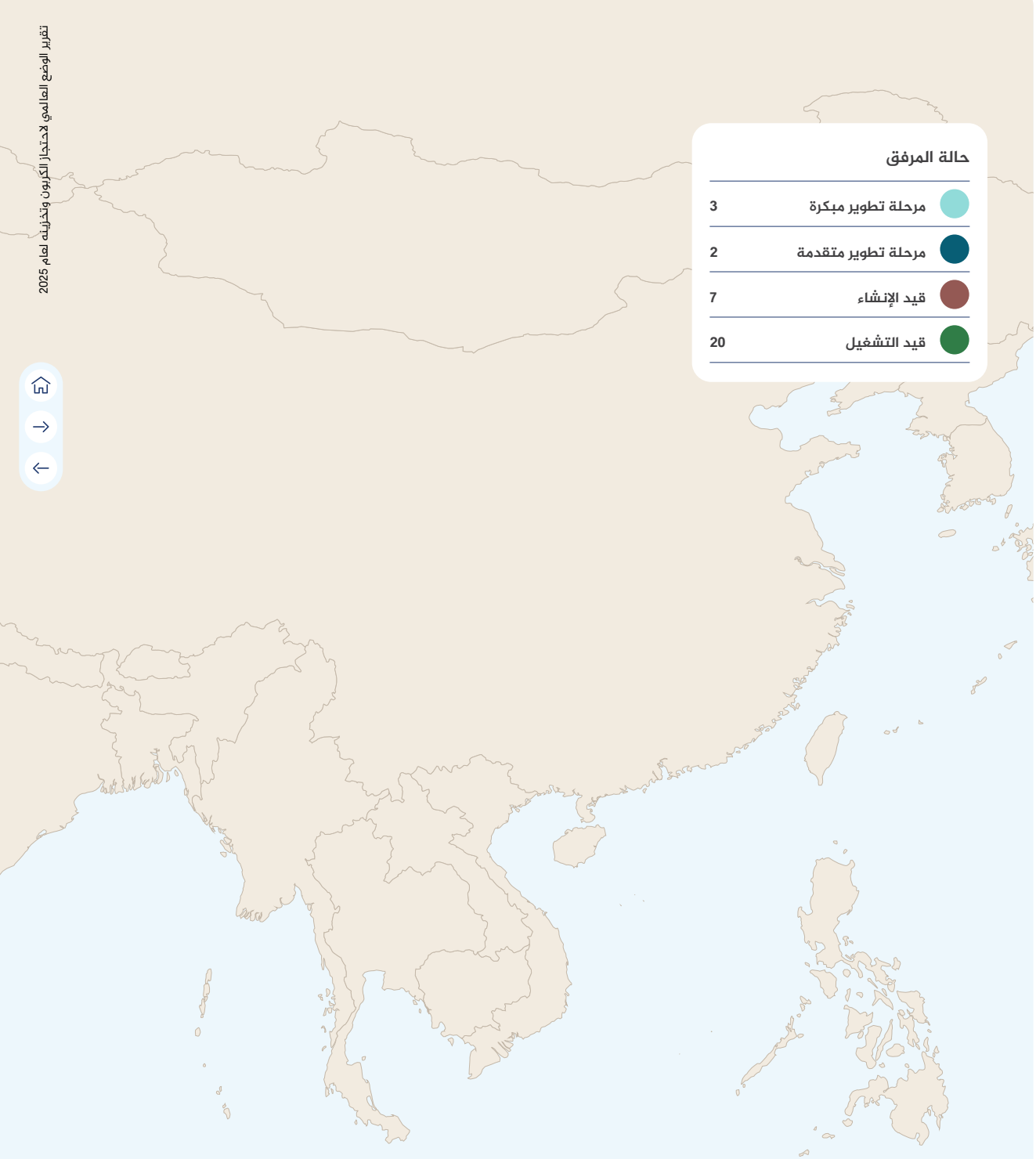
تدخل جهود الصين في مجال احتجاز الكربون وتخزينه مرحلةً تحوّلية، تتّسم بمشاريع تجريبية واسعة النطاق وتبني التقنية على نطاق واسع عبر مختلف القطاعات. في حين لا تزال البلاد في المراحل الأولى من تطوير سياساتها الوطنية وإطارها التنظيمي، فإن هذه المرحلة الجديدة تحظى بدفعة قوية بفضل المؤشرات السياسية الإيجابية والأدوات المصمَّمة خصيصًا لهذا الغرض. تسير الصين على مسار توسيع نطاق تنفيذ تقنية احتجاز الكربون وتخزينه بحلول عام 2030، ويعتمد مدى نجاحها على استمرار التقدّم في التقنيات، ونجاح المشاريع التجريبية، ووضع السياسات والأطر التنظيمية، فضلًا عن المشهد المتغيّر لحوكمة المناخ العالمية.

إنجاز بارز – عزّز مشروع «هوانغ» بسعة 1.5 مليون طن سنويًا مكانة الصين باعتبارها دولة رائدة في تطبيق تقنية احتجاز الكربون وتخزينه في محطات توليد الطاقة العاملة بالفحم. يمثّل تشغيل هذا المرفق إنجازًا بارزًا لا للصين فحسب، بل للمجتمع العالمي المهتم بتقنية احتجاز الكربون وتخزينه. وباعتباره أكبر مشروع لاحتجاز الكربون وتخزينه في العالم مرتبطًا بمحطة توليد طاقة تعمل بالفحم، فإنه يوجّه رسالة واضحة مفادها أن خفض الانبعاثات الكربونية على نطاق واسع في البنية التحتية القائمة على الوقود الأحفوري أمرٌ ممكن من الناحيتين التقنية والتشغيلية.

الأساس – تدفع الإشارات السياسية الإيجابية جهود الصين في المشاريع التجريبية لاحتجاز الكربون وتخزينه نحو مرحلة جديدة من التطوّر. تعزز الدعم السياسي لتقنيات احتجاز الكربون وتخزينه في الصين بشكل مطّرد منذ عام 2024، مع صدور إشارات أوضح من الحكومة المركزية بإدماج هذه التقنيات ضمن خطط التحول القطاعي، ولا سيما في قطاع توليد الكهرباء المعتمد على الفحم. تُعطي بعض البرامج السياسية أولوية خاصة للمشاريع التجريبية التي تشمل سلسلة القيمة الكاملة. تُسهم هذه الرؤية الواضحة في تمكين جيل جديد من المشاريع الأكثر تكاملًا، القادرة على احتجاز كميات أكبر من ثاني أكسيد الكربون.

التقدّم – يظل التطوّر قويًّا على صعيد الابتكار التكنولوجي، والقدرات التصنيعية، والمشاريع التجريبية الميدانية، مع استمرار نضوج منظومة عمل احتجاز الكربون وتخزينه في الصين. يُحرز المبتكرون في مجال التكنولوجيا وموّردو المعدات الصينيون تقدّمًا في تحسين كفاءة الاحتجاز، وخفض التكاليف، وتصميم حلول مخصَّصة لمجموعة أوسع من العمليات الصناعية، إلى جانب مساهمتهم في مشاريع احتجاز الكربون وتخزين على المستوى العالمي.

الزخم – مع انطلاق عملية إعداد الخطة الخمسية الخامسة عشرة (2026–2030) للبلاد، من المقرر تحديد مسار تطوير تقنية احتجاز الكربون وتخزينه بمدى وطريقة إدماجها في خطط التنمية الوطنية والقطاعية للسنوات الخمس المقبلة. في حال إدراج تقنية احتجاز الكربون وتخزينه رسميًا في خطط التنمية، قد تستفيد من وضوح أكبر في السياسات ومن قدرٍ أعلى من الاستقرار على المدى الطويل.



*غياب العلامات على خريطة تسليط الضوء على الوضع الإقليمي – الصين مقصود ومتعمد.
يمكن الاطّلاع على الموقع العام للمرافق في الصفحة 6.

تواصل الصين إحراز تقدّم ثابت في تطوير المشاريع التجريبية واسعة النطاق لتقنية احتجاز الكربون وتخزينه1 خلال عام 2025. تم تحقيق إنجاز عالمي بارز مع بدء تشغيل مشروع «هوانينغ» لاحتجاز الكربون وتخزينه بسعة 1.5 مليون طن سنويًا، وهو الأكبر من نوعه على مستوى العالم في محطة طاقة تعمل بالفحم. يُبرز هذا المشروع، إلى جانب عددٍ من التطوّرات الرئيسية في مشاريع أخرى، تنامي القدرات التكنولوجية والهندسية للصين في هذا القطاع. ما تزال الإشارات السياسية داعمة، موجّهةً تنفيذ المشاريع التجريبية لتقنية احتجاز الكربون وتخزينه في كلٍّ من قطاعي الصناعة الثقيلة وتوليد الطاقة.

المشاريع

يواصل قطاع توليد الطاقة بالفحم في الصين قيادة جهود احتجاز وتخزين الكربون في البلاد. بالإضافة إلى مشروع هوانينغ، بدأت مؤسسة البترول الوطنية الصينية في أبريل 2025 أعمال إنشاء مشروع احتجاز الكربون وتخزينه في محطة طاقة تعمل بالفحم في شينجيانغ بطاقة تبلغ مليون طن سنويًا، مع خطة لزيادة السعة إلى مليوني طن سنويًا في المستقبل. في نوفمبر 2024، نجحت شركة جينجي التابعة لمؤسسة الاستثمار الوطني في الطاقة بالصين (المؤسسة) في تسجيل مشروع لاحتجاز الكربون وتخزينه بسعة 4 ملايين طن سنويًا في محطة تعمل بالفحم، لدى حكومة مدينة يولين في مقاطعة شنشي. وعلى الرغم من أن هذا المشروع لا يزال في مراحله الأولى من التطوير، فإن يُبرز طموح المؤسسة في الاضطلاع بدور ريادي في تطبيق تقنية احتجاز الكربون وتخزينه لخفض الانبعاثات الكربونية في محطات توليد الطاقة العاملة بالفحم.

في الصناعات التي يصعب فيها خفض الانبعاثات، مثل قطاع الكيماويات، بدأت شركة نينغشيا التابعة للمؤسسة تشغيل مرفق لاحتجاز الكربون وتخزينه بسعة 500 ألف طن سنويًا في إحدى محطاتها لتحويل الفحم إلى سوائل في مدينة ينشوان، وذلك في سبتمبر 2024. يُعد هذا المشروع جزءًا من استراتيجية أوسع تهدف إلى التوسع ليصل إلى 3 ملايين طن سنويًا بحلول عام 2030. وباعتباره أحد أكبر مبادرات احتجاز الكربون وتخزينه في قطاع تحويل الفحم إلى كيماويات في الصين، قد يُثبت هذا المشروع جدوى مسار منخفض الكربون لقطاع ضخم لا يزال يشهد نموًا متسارعًا.

في قطاع صناعة الأسمنت، أطلقت مجموعة بكين بي بي إم جي مشروعًا تجريبيًا لاحتجاز الكربون وتخزينه بقدرة 100 ألف طن سنويًا في بكين، ليشكل بذلك ثالث مشروع لاحتجاز الكربون وتخزينه قيد التشغيل في هذه الصناعة في الصين. تقوم شركة تشاينا ريسورسز كذلك بإنشاء مرفق لاحتجاز الكربون وتخزينه بسعة 60 ألف طن سنويًا في جزيرة هاينان. يستخدم المشروعان تقنية احتجاز تعتمد على الأمينات. في عام 2024، بدأت شركة الصين المتحدة للأسمنت مشروع احتجاز الكربون وتخزينه باستخدام تقنية الاحتراق بالأوكسجين في قطاع الأسمنت، بطاقة احتجاز سنوية تبلغ 200 ألف طن (تقرير المعهد العالمي لاحتجاز الكربون وتخزينه لعام 2024)، وهو الأكبر من نوعه في العالم.

في قطاع النفط والغاز، أطلقت شركة سينوك أول مشروع صيني للاستخلاص المعزز للنفط باستخدام ثاني أكسيد الكربون في البحر في شهر مايو (تقرير مكتب الإعلام التابع لمجلس الدولة لعام 2025). تقع المنصة، وهي أكبر منصة لإنتاج النفط البحري في آسيا، على بُعد نحو 200 كيلومتر جنوب غرب مدينة شينجن، ومن المقرر أن تضخ أكثر من مليون طن من ثاني أكسيد الكربون خلال العقد القادم. بالإضافة إلى ذلك، بدأت مؤسسة البترول الوطنية الصينية في أبريل ببناء خط أنابيب لثاني أكسيد الكربون بطول 400 كيلومتر على مرحلتين، وبقدرة نقل تبلغ 4 ملايين طن سنويًا، أي ما يعادل أربعة أضعاف سعة وطول أول خط أنابيب صناعي واسع النطاق لثاني أكسيد الكربون في الصين، الواقع في مقاطعة شاندونغ والمملوك لشركة سينوبيك. سيشكل توسيع شبكة خطوط أنابيب ثاني أكسيد الكربون عاملًا أساسيًا لتمكين المزيد من مشاريع احتجاز الكربون وتخزينه واسعة النطاق في مختلف أنحاء البلاد، مما سيعزز بشكل أكبر البنية التحتية لاحتجاز الكربون وتخزينه في الصين.

التعاون العابر للحدود

سلّمت شركة داليان لصناعة السفن في أواخر عام 2024 أول سفينتين لنقل ثاني أكسيد الكربون المسال إلى مشروع نورثرن لايتس في النرويج (وفقًا للمنشور الثاني الصادر عن مجلة أوفشور إينرجي لعام 2025)، ما يمثل محطة بارزة في مسار التعاون العالمي ضمن سلسلة الإمداد الخاصة بتقنية احتجاز الكربون وتخزينه. في فبراير 2025، تم الكشف رسميًا عن السفينة العائمة للإنتاج والتخزين والتفريغ (AGOGO FPSO)، وهي الأولى من نوعها في العالم المزوّدة بتقنية احتجاز الكربون بعد الاحتراق في البحر، وذلك في شركة كوسكو شيبنغ للصناعات الثقيلة المحدودة. وتبلغ طاقتها 230 ألف طن سنويًا، وفقًا للجنة الإشراف وإدارة الأصول المملوكة للدولة التابعة لمجلس الدولة الصيني (2025) ومنصة أوفشور إينرجي (2025أ). من المقرر أن تستخدم شركة أزول إينرجي، وهي مشروع مشترك بين شركتي بي بي وإيني، هذه السفينة العائمة للإنتاج والتخزين والتفريغ قبالة سواحل أنغولا. في يونيو 2025، حققت شنغهاي أول عملية تفريغ من سفينة إلى أخرى لغاز ثاني أكسيد الكربون المسال تم احتجازه مباشرة من سفينة حاويات، في سابقة هي الأولى من نوعها عالميًا (مارين لينك، 2025).

السياسة

تواصل الصين تعزيز سياساتها المناخية، وفي الوقت نفسه تستكشف أدوات سياسات جديدة لتعزيز تطوير تقنيات احتجاز الكربون وتخزينه. في أغسطس الماضي، أعلنت الحكومة الصينية التزامًا واضحًا بالتحول من الأهداف القائمة على كثافة الكربون إلى اعتماد حد أقصى لإجمالي الانبعاثات كهدف رئيسي بحلول عام 2030. في مارس، كشفت الصين عن خطة عمل لتوسيع سوق تداول الكربون ليشمل صناعات الصلب والأسمنت والألمنيوم. تشكل القطاعات الثلاثة معًا نحو 3 مليارات طن من مكافئ انبعاثات ثاني أكسيد الكربون سنويًا. ورغم أن هذا التوسّع قد لا يؤثر بشكل فوري في نشر تقنيات احتجاز الكربون وتخزينه في الصين، فإن إنشاء سوق كربون ناضجة إلى جانب اعتماد سقف للانبعاثات بحلول عام 2030 سيحفّز الشركات على التخطيط لأهداف مناخية طويلة الأجل، بما في ذلك القرارات المتعلقة باحتجاز الكربون وتخزينه.

فيما يتعلق بتقنيات احتجاز الكربون وتخزينه، دأبت الحكومة المركزية على إبداء دعمها المستمر للمشاريع التجريبية واسعة النطاق، ولا سيما في قطاع توليد الطاقة باستخدام الفحم. وينعكس هذا الالتزام السياسي في ما لا يقل عن ثلاثة وثائق سياسات رئيسية:

- خطة العمل للتحول إلى انبعاثات منخفضة الكربون وبناء محطات توليد الطاقة العاملة بالفحم (2024-2027)، التي صدرت في يوليو 2024.
- آراء بشأن تعزيز الاستخدام النظيف والكفء للفحم، الصادرة في سبتمبر 2024.
- برنامج تنفيذ إجراءات تطوير الجيل الجديد من محطات الطاقة العاملة بالفحم (2025-2027)، الصادر في مارس 2025.

كما أطلقت خطة العمل الخاصة دعوة لتقديم المقترحات استنادًا إلى هذه الأطر السياساتية. ستحظى مشاريع احتجاز الكربون وتخزينه المختارة في قطاع الطاقة العاملة بالفحم بدعم حكومي.

وفي الوقت نفسه، قدّم برنامج تنفيذ مشروع تجريبي للتقنيات المتقدمة الخضراء ومنخفضة الكربون تمويلًا لسبعة مشاريع لاحتجاز الكربون وتخزينه في أبريل 2025. وتتضمن ثلاثة مشاريع متكاملة لاحتجاز الكربون وتخزينه، ومشروعًا لاحتجاز الكربون في قطاع الأسمنت، ومشروع خط أنابيب لنقل ثاني أكسيد الكربون لمسافات طويلة، إضافةً إلى مشروعي احتجاز في مصنع للأسمدة ومرفق لإنتاج بطاريات الليثيوم أيون.

[1] في الصين، يمكن تشغيل المشاريع التجريبية طوال العمر التشغيلي للمشروع، وليس لفترة قصيرة فحسب.

سلّمت شركة داليان لصناعة السفن في أواخر عام 2024 أول سفينتين لنقل ثاني أكسيد الكربون المسال إلى مشروع نورثرن لايتس في النرويج، ما يمثّل محطة بارزة في مسار التعاون العالمي ضمن سلسلة الإمداد الخاصة بتقنية احتجاز الكربون وتخزينه.

مشروع هوانينج لونجدونج: يُعَدّ معيارًا عالميًا لإزالة الكربون من محطات توليد الطاقة العاملة بالفحم.

يمثل مشروع احتجاز واستخدام وتخزين الكربون في قاعدة هوانينج لونجدونج للطاقة بطاقة 1.5 مليون طن سنويًا خطوة تحولية في الجهود العالمية لمكافحة تغير المناخ. وهو أكبر مرفق في العالم لاحتجاز الكربون مدمج مع محطة لتوليد الطاقة بالفحم، وأضخم مبادرة لاحتجاز الكربون وتخزينه في الصين. يقع هذه المرفق الرائد في مقاطعة قانسو غرب الصين، ويمهد الطريق أمام أنظمة الطاقة المعتمدة على الفحم لتحقيق صافي انبعاثات صفري، كما يضع نموذجًا قابلًا للتكرار لإدارة الكربون على نطاق واسع وبتكلفة فعّالة على مستوى العالم.

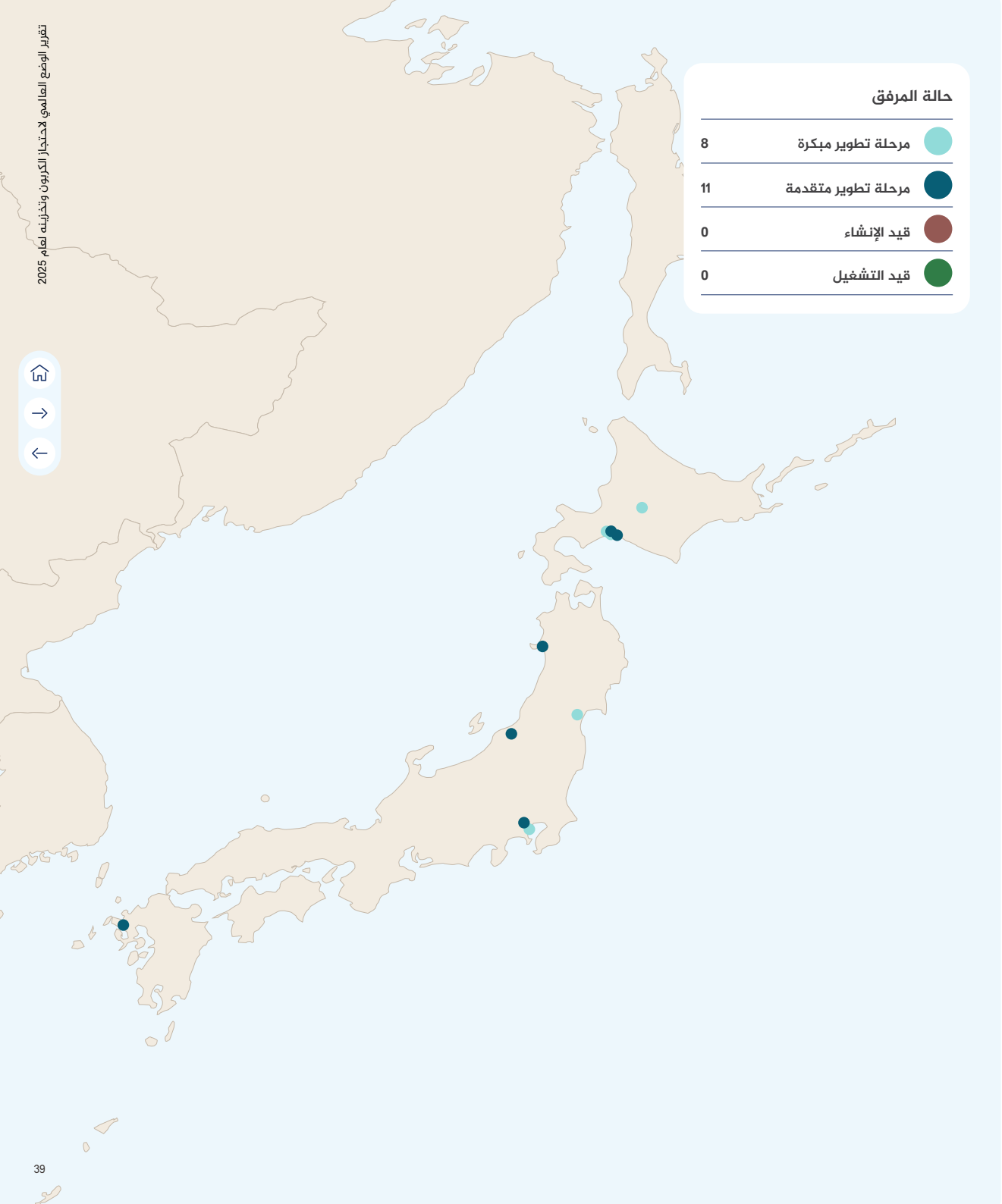
الآثار الرئيسية

- الحجم والتكامل: يتكامل المشروع مع محطة «تشنغنينغ» لتوليد الكهرباء بالفحم بقدرة 2 × 1000 ميغاواط، ويرتبط بسعة 6 غيغاواط من الطاقة المتجددة، بما يُنشئ بنية تحتية هجينة للطاقة توازن بين موثوقية الوقود الأحفوري والطاقة المتجددة وتقنيات احتجاز الكربون واستخدامه وتخزينه (CCUS). ويسهم ذلك في تحقيق خفض عميق لانبعاثات ثاني أكسيد الكربون في «المرحلة الأخيرة»، ما يمثل سابقة لانتقال محطات الطاقة العاملة بالفحم نحو الطاقة النظيفة.
- تقنيات متقدمة: يعتمد المشروع في جوهره على تقنية المذيب الهجين HNC-7 التي طورتها شركة هواينغ، والتي تقلل من استهلاك الطاقة (≥2.3 جيجاجول لكل طن من ثاني أكسيد الكربون) واستهلاك المذيب، مع الحد من البصمة البيئية إلى أدنى حد ممكن. وقد حقق هذا الابتكار تكلفة لإزالة الكربون تقل عن 220 يوانًا لكل طن من ثاني أكسيد الكربون، مما يجعله حلًا ذا جدوى تجارية وقابلًا للمنافسة عالميًا.
- مشروع تجريبي متكامل لسلسلة احتجاز واستخدام وتخزين الكربون: يُعدّ هذا المرفق أول مرفق متكامل واسع النطاق لاحتجاز واستخدام وتخزين الكربون في قطاع الطاقة في الصين، ويضم أعمق بئر لتخزين ثاني أكسيد الكربون في تكوينات صخرية مالحة في البلاد، بالإضافة إلى شبكة أنابيب لنقل ثاني أكسيد الكربون في حالته فوق الحرجة قادرة على احتجاز 200 ألف طن سنويًا، ترتفع إلى 500 ألف طن سنويًا في المرحلة الثانية. تظهر المراقبة الديناميكية الفورية أن عملية التخزين دائمة، ما يعزز الثقة في إدارة الكربون في الطبقات الجيولوجية العميقة.
- المخطط التجاري العالمي: من خلال عرض تقنيات فعّالة وقابلة للتوسع لاحتجاز ثاني أكسيد الكربون ونموذج أعمال مستدام، يمكن لمشروع هوانينج أن يسهم في تسريع التوسع التجاري لتقنيات احتجاز واستخدام وتخزين الكربون على المستوى العالمي. يقدّم هذا المشروع للاقتصادات النامية نموذجًا عمليًا للتوفيق بين الاعتماد على الفحم وتحقيق الأهداف المناخية، من خلال إظهار أن احتجاز الكربون منخفض التكلفة وعالي الكفاءة قابل للتحقيق.

مشروع هوانينج لونجدونج لاحتجاز الكربون واستخدامه وتخزينه، الصورة مُقدمة من معهد هوانينج لأبحاث الطاقة النظيفة.

محفز للعمل

يُظهر مشروع قاعدة لونجدونج للطاقة ريادة الصين في ابتكار تقنيات احتجاز واستخدام وتخزين الكربون، ويسهم في إعادة تعريف مستقبل الطاقة العاملة بالفحم. يؤكد نجاح هذا المشروع الدور الحاسم لتقنيات احتجاز الكربون المتقدمة في تحقيق أهداف صافي الانبعاثات الصفري، ويقدّم إطارًا قابلًا للتكرار لإزالة الكربون من الصناعات الثقيلة وشبكات الطاقة المعتمدة على الوقود الأحفوري. يُعد هذا المشروع، بوصفه أكثر مشروع تجريبي متقدم على نطاق تجاري في قطاع الفحم، حجر الزاوية في تسريع القدرة العالمية على مواجهة التغير المناخي وتحقيق تحولات عادلة في الطاقة.



اليابان

تحوّل سياسات واضح يدفع تقنيات احتجاز الكربون نحو واقع تجاري أكثر قربًا

السياسات الواضحة والقانون الجديد والزخم المدفوع من القطاع التجاري تدفع قطاع احتجاز الكربون في اليابان نحو مرحلة التنفيذ. مع صدور تشريعات جديدة، وتقدّم المشاريع المدعومة من الحكومة، ومناقشة اتفاقيات ثنائية مع ماليزيا وسنغافورة، تعمل اليابان على وضع أساس متين لنشر تقنيات احتجاز الكربون على النطاق التجاري. ومع ذلك، لا تزال هناك تحديات تتمثل في ضمان الوصول إلى مواقع التخزين طويلة الأمد، وتحقيق التنافسية من حيث التكلفة، وكسب قبول الجمهور.

الزخم - أكدت الحكومة اليابانية مجددًا أن تقنيات احتجاز الكربون وتخزينه تُعد ركيزة أساسية في استراتيجيتها لتحقيق صافي الانبعاثات الصفري بحلول 2050، حيث تم اختيار تسعة مشاريع متقدمة لاحتجاز الكربون ووضع خارطة طريق وطنية تستهدف تخزين ما يصل إلى 240 مليون طن سنويًا من ثاني أكسيد الكربون بحلول 2050.

العوامل الدافعة - ينص قانون أعمال احتجاز الكربون وتخزينه، الصادر في مايو 2024، على إطار قانوني لترخيص عمليات استكشاف المواقع والتخزين وتشغيل خطوط الأنابيب، مما يعزز ثقة المستثمرين ويوفر وضوحًا تنظيميًا. مع التخطيط لإدخال نظام تجارة الانبعاثات القائم على الحد الأقصى والتجارة في سوق الاعتمادات الكربونية في اليابان (GX-ETS) في أبريل 2026، يبدو أن عددًا متزايدًا من الشركات أصبح ينظر بجدية في نشر تقنيات احتجاز الكربون داخليًا.

التقدّم - مع توقع نمو الطلب على ناقلات ثاني أكسيد الكربون المسال (LCO_2) من مشاريع احتجاز الكربون وتخزينه التي تنقل ثاني أكسيد الكربون المجمّع في اليابان إلى مواقع التخزين عن طريق البحر، بدأت الحكومة اليابانية في:

- البحث والتطوير والتنفيذ التجريبي لنقل ثاني أكسيد الكربون عن طريق السفن، بتكليف من المنظمة اليابانية لتطوير الطاقة الجديدة والتقنيات الصناعية.
- أنشأت منظمة اليابان للمعادن وأمن الطاقة مجلسًا بالتعاون مع وزارة الاقتصاد والتجارة والصناعة، يهدف إلى توحيد مواصفات نقل ثاني أكسيد الكربون عن طريق السفن وخفض تكاليف النقل المرتبطة بذلك.

بالتوازي مع ذلك، تدرس سبع شركات خاصة بشكل مشترك كيفية وضع مواصفات وتصاميم قياسية لناقلات ثاني أكسيد الكربون المسال.

التحدي - تؤدي محدودية خيارات التخزين البرية في اليابان إلى زيادة اعتمادها على الشراكات الدولية، بينما لا يزال الوعي العام يمثل جانبًا بحاجة إلى اهتمام. لتشغيل تسعة مشاريع متقدمة لاحتجاز الكربون وتخزينه اعتبارًا من عام 2030، يُطلب من كل صاحب مشروع اتخاذ قرار الاستثمار النهائي في عام 2026. تخطط الحكومة اليابانية لدعم تكاليف عمليات الحفر الاستكشافية المطلوبة لاتخاذ قرار الاستثمار النهائي.

ال م ش روع ال ت ج ري ب ي ل ا ح ت ج ا ز ال ك ر ب ون و ت خ ز ي ن ه ف ي ت وم ا ت و ك ا ي م ي ل ص و ن ق ُ ق د م ت م ن ش ر ك ة ج ا ي ب ا ن ا ل م ح دود ل ا ح ت ج ا ز ت خ ز ي ن ا ل ك ر ب ون (JCCS).

تحظى الطموحات السياسية لليابان بالدعم من القانون والمشاريع والتمويل. مع انتقال المشاريع من مرحلة التنفيذ التجريبي إلى النشر التجاري، سيعتمد النجاح على إصدار التصاريح في الوقت المناسب، والشراكات الدولية، ودعم الجمهور. لا تقتصر جهود اليابان على توسيع نطاق تقنيات احتجاز الكربون وتخزينه داخليًا فحسب، بل تسهم أيضًا في تشكيل المنظومة الإقليمية لإزالة الكربون.

السياسة

يقدّم قانون أعمال احتجاز الكربون وتخزينه في اليابان، الصادر في مايو 2024، أساسًا قانونيًا شاملًا لتخزين ونقل ثاني أكسيد الكربون في الطبقات الجيولوجية، ويضع نموذجًا للوضوح التنظيمي وتحفيز مشاركة القطاع الخاص.

قدم القانون نظام ترخيص (على اليابسة وفي البحر) لـما يلي:

- حقوق الاستكشاف لإجراء الدراسات الجيولوجية.
- حقوق التخزين لحقن ثاني أكسيد الكربون ومراقبته.
- لوائح أنابيب ثاني أكسيد الكربون ضمن نظام الإخطار لتسريع تطوير شبكات أنابيب ثاني أكسيد الكربون.

أشارت خطة استراتيجية الطاقة السابعة الصادرة عن وزارة الاقتصاد والتجارة والصناعة في فبراير 2025 إلى أن:
"تقنيات احتجاز واستخدام وتخزين الكربون قادرة على تحقيق إزالة الكربون في المجالات التي يصعب إزالة الكربون فيها من خلال التحول للكهرباء أو الانتقال إلى مصادر غير أحفورية باستخدام الهيدروجين ومشتقاته. لذلك، تُعد تقنيات احتجاز واستخدام وتخزين الكربون ضرورية لتحقيق أمن الطاقة والنمو الاقتصادي وإزالة الكربون في الوقت نفسه."

بموجب تخصيص المنطقة المحددة في قانون أعمال احتجاز الكربون وتخزينه، خصصت وزارة الاقتصاد والتجارة والصناعة موقع بحري في مدينة توماتوكايما بمحافظة هوكايدو باعتبارها منطقة محددة في فبراير 2025. تم إصدار أول ترخيص استكشاف بموجب قانون أعمال احتجاز الكربون وتخزينه في سبتمبر 2025.

المشاريع

وضعت المشاريع المبكرة الأساس لتقنيات احتجاز الكربون وتخزينه في اليابان:

- المشروع التجريبي في توماتوكايمي: مشروع تجريبي متكامل لسلسلة احتجاز الكربون واستخدامه وتخزينه نفذته شركة اليابان المحدودة لاحتجاز وتخزين الكربون (JCCS 2016–2019)، حيث تم تخزين أكثر من 300,000 طن من ثاني أكسيد الكربون في البحر.
- أوساكي كولجن: مشروع تجريبي مستمر لتقنيات التحويل الغازي للفحم مع دورة مشتركة/التحويل الغازي للفحم مع خلية وقود ودورة مشتركة بالقرب من هيروشيما، بتصميم جاهز للاحتجاز.

في يونيو 2024، أعلنت المنظمة اليابانية للمعادن وأمن الطاقة عن تسعة مشاريع متقدمة لاحتجاز الكربون وتخزينه، تركّز على دراسات الجدوى لالتقاط انبعاثات ثاني أكسيد الكربون وتخزينها. تقع هذه المشاريع في مواقع استراتيجية في جميع أنحاء المناطق الصناعية، وتهدف إلى الاستفادة من البنية التحتية الحالية والتكوينات الجيولوجية المناسبة. ومن المتوقع أن تُخزن خمسة من هذه المشاريع ثاني أكسيد الكربون محليًا، في حين ستقوم أربعة مشاريع بتخزينه في الخارج: ثلاثة في ماليزيا وواحد في أوقيانوسيا. وتتوافق هذه المبادرة مع أهداف اليابان في الحياد الكربوني وأهدافها المتعلقة بتعزيز القدرات التكنولوجية، ويعكس ذلك توجهًا وطنيًا واسعًا نحو اعتماد تقنيات احتجاز الكربون وتخزينه.

تُدرك اليابان أن مشاريع احتجاز الكربون وتخزينه عبر الحدود تُعد ضرورية لتجاوز القيود المفروضة على سعات التخزين المحلية. فعلى سبيل المثال، تجري اليابان مفاوضات بشأن أطر لتصدير ثاني أكسيد الكربون مع ماليزيا.

التمويل

استمرار الدعم الشعبي القوي:

- سندات التحول المناخي اليابانية هي أداة تمويل مدعومة من الحكومة تُستخدم لدعم مشاريع احتجاز الكربون وتخزينه وغيرها من مشاريع البنية التحتية للتحول في مجال الطاقة. لم تُخصَّص عائدات هذه السندات بعدُ لمشاريع احتجاز الكربون وتخزينه، لكنها قد تُوجَّه لذلك في المستقبل. (وزارة المالية وجهات أخرى، 2024)
- بدأت وزارة الاقتصاد والتجارة والصناعة في يناير مناقشة آلية تمويل جديدة لمشاريع احتجاز الكربون وتخزينه، يُتوقع اعتمادها بشكل نهائي بحلول نهاية عام 2025.

تهدف هذه الآلية إلى تقديم الدعم لمعالجة حالة عدم اليقين المتعلقة بالفجوة بين تكلفة تنفيذ مشاريع احتجاز الكربون وتخزينه وتكلفة انبعاثات ثاني أكسيد الكربون غير المخفَّضة، والتي قد تشمل الضرائب، وتكاليف شراء أرصدة الكربون، والخسائر أو انخفاض الأرباح الناتجة عن انخفاض القيمة البيئية، إلى جانب عوامل أخرى. وسيستهدف الدعم ليس فقط النفقات الرأسمالية (Capex) اللازمة لبدء مشروع احتجاز الكربون وتخزينه، بل أيضًا النفقات التشغيلية (Opex) اللازمة لاستدامة تشغيله.

التقدم المحرز

تُحرز اليابان تقدمًا في تقنيات فصل واحتجاز ثاني أكسيد الكربون ضمن إطار صندوق الابتكار الأخضر، مع استهداف مصادر الغازات المنبعثة ذات التركيز المنخفض (أقل من 10%) والضغط المنخفض، مثل محطات توليد الكهرباء العاملة بالغاز الطبيعي والعوادم الصناعية. يهدف هذا البرنامج إلى خفض تكلفة احتجاز ثاني أكسيد الكربون إلى أقل من 2000 ين للطن الواحد بحلول عام 2030، مع دعم تطبيقات الاحتجاز على المستويين الكبير والمتوسط.

يُجرى حاليًا تنفيذ سبعة مشاريع رئيسية للبحث والتطوير، تغطي مجموعة واسعة من التقنيات، تشمل المواد الماصة الصلبة، والأغشية، وطرق التبريد العميق، والفصل الكهروكيميائي، ومواد الامتصاص المبتكرة. ومن بين المشاركين البارزين: تشيودا كوربوريشن وجيرا ودينسو وريزوناك وسوميتومو كيميكال وإير ووتر إنك وتوهو غاز، إلى جانب عدد من الجامعات والمعاهد البحثية الوطنية.

صُمِّمت هذه المشاريع ليس فقط من أجل إزالة الكربون من قطاعات الطاقة والصناعة، بل أيضًا لتطوير تقنيات تمكينية تدعم احتجاز الكربون وتخزينه باستخدام الطاقة الحيوية والاحتجاز المباشر من الهواء.

يترأس أيضًا معهد الوطني لعلوم الصناعة والتقنية المتقدمة ومعهد أبحاث التقنيات المبتكرة من أجل الأرض تطوير بنية تحتية موحَّدة لاختبار مواد فصل ثاني أكسيد الكربون، وذلك بهدف تعزيز التنسيق والاتساق على المستوى الدولي.

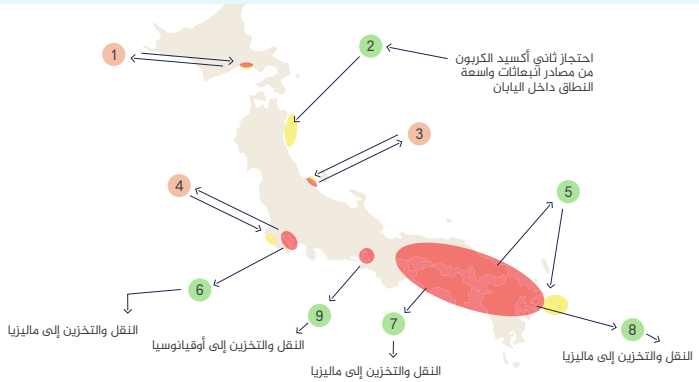
يحظى البرنامج بدعم مالي عام تبلغ قيمته نحو 38 مليار ين، يُقدَّم عبر منظمة الطاقة الجديدة وتطوير التقنيات الصناعية، ويغطي جميع المشاريع السبعة حتى عام 2030.

من المتوقع أن تسهم هذه المبادرة بشكل كبير في استراتيجية اليابان لإزالة الكربون من القطاع الصناعي، وأن تعزّز ريادتها في تقنيات احتجاز الكربون. يُجرى أيضًا استكشاف دمج أنظمة الاحتجاز مع مسارات استخدام ثاني أكسيد الكربون اللاحقة، بما في ذلك إنتاج المواد الكيميائية وتصنيع الوقود الإلكتروني (منظمة الطاقة الجديدة وتطوير التقنيات الصناعية، 2025).

تُحرز اليابان تقدمًا في تقنيات فصل واحتجاز ثاني أكسيد الكربون ضمن إطار صندوق الابتكار الأخضر، وتركز على مصادر الغازات المنبعثة ذات التركيز المنخفض (أقل من 10%) والضغط المنخفض، مثل محطات توليد الكهرباء العاملة بالغاز الطبيعي والعوادم الصناعية.

تسعة مشاريع يابانية متقدمة مختارة لاحتجاز الكربون وتخزينه

المصدر: منظمة اليابان للمعادن وأمن الطاقة



- المنطقة المحتملة لانبعاثات ثاني أكسيد الكربون
- المنطقة المحتملة لتخزين ثاني أكسيد الكربون
- مشروع نقل ثاني أكسيد الكربون عن طريق السفن
- مرحلة التطوير المبكرة لثاني أكسيد الكربون عبر خطوط الأنابيب

	المشروع	المشاركون	الموقع
1	مشروع احتجاز الكربون وتخزينه في منطقة توماتوكايمي	جابيكس إيديميتسو هيبكو	هوكايدو
2	مشروع احتجاز الكربون وتخزينه على الساحل الغربي لمنطقة توهوكو	إيتوتشو تيبون ستيل تايهيو سيمنت إنبكس ميتسوبيشي هيفي إندستريز تايسي	توهوكو
3	مشروع احتجاز الكربون وتخزينه في منطقة هيغاشي نيغاتا	جابيكس ميتسوبيشي غاز كيميكال هوكويتسو توهوكو إليكتريك باور إنك	نيغاتا
4	مشروع احتجاز الكربون وتخزينه في المنطقة الحضرية	إنبكس تيبون ستيل كانتو ناتشرال غاز ديفيلوبمنت	منطقة خليج طوكيو وتشِيبا
5	الساحل الغربي البحري لمنطقة كيوشو	إينيوس إينيوس إكسبلورا جاي باور	الساحل البحري لمنطقة كيوشو
6	مشروع احتجاز الكربون وتخزينه في الساحل الشمالي لشبه جزيرة ماليزيا	ميتسوبيشي كوربوريشن إينيوس إينيوس إكسبلورا تيبون شوكوباي جاي إف إي كوزمو بترونّاس	منطقة خليج طوكيو، للنقل والتخزين إلى ماليزيا
7	مشروع احتجاز الكربون وتخزينه في الساحل البحري لمنطقة ساراواك	جابيكس جيه جي سي "كيه" لاين بترونّاس جي إف إي ميتسوبيشي غاز كيميكال إنرجيا ميتسوبيشي كيميكال جروب نيبون غاز لاين	غرب اليابان، للنقل والتخزين إلى ماليزيا
8	مشروع احتجاز الكربون وتخزينه في الساحل الجنوبي لشبه جزيرة ماليزيا	ميتسوي أند كو كانساي إليكتريك باور كوزمو إنرجيا جاي باور كيوشو إليكتريك باور كو. إنك. ريزوناك ميتسوبيشي يوبي سيمنت	غرب اليابان، للنقل والتخزين إلى ماليزيا
9	مشروع احتجاز الكربون وتخزينه في أوقيانوسيا	ميتسوبيشي كوربوريشن نيبون ستيل إكسون موبيل ميتسوبيشي كيميكال جروب ميتسوبيشي كوربوريشن كلين إينرجي	تشوبو، للنقل والتخزين إلى أوقيانوسيا

توحيد المواصفات لنقل ثاني أكسيد الكربون عن طريق السفن

القطاع العام

أنشأت منظمة اليابان للمعادن وأمن الطاقة مجلسًا بالتعاون مع وزارة الاقتصاد والتجارة والصناعة لدعم تعزيز وتوسيع مشاريع احتجاز الكربون وتخزينه. يهدف المجلس إلى وضع مواصفات معيارية لنقل ثاني أكسيد الكربون عن طريق السفن وخفض التكاليف المرتبطة بالنقل. تم الانتهاء من إصدار النسخة الأولى من الدليل في عام 2025، ليُستخدم كمرجع للمشاريع المستقبلية لاحتجاز الكربون وتخزينه التي تعتمد على نقل ثاني أكسيد الكربون عن طريق السفن، وهذا الدليل متاح للجمهور (منظمة اليابان للمعادن وأمن الطاقة، 2025).

القطاع الخاص

نظرًا لتوقع نمو الطلب على ناقلات ثاني أكسيد الكربون المسال من مشاريع احتجاز الكربون وتخزينه المختلفة التي تنقل ثاني أكسيد الكربون المجمّع في اليابان بحرًا إلى مواقع التخزين، أصبح من الضروري إنشاء وتوفير ناقلات ثاني أكسيد الكربون المسال داخل اليابان لتحقيق سلسلة قيمة احتجاز الكربون وتخزينه وتحسين الكفاءة الاقتصادية.

اتفقت سبع شركات على إجراء دراسة مشتركة لوضع المواصفات والتصاميم القياسية لناقلات ثاني أكسيد الكربون المسال، وإنشاء سلسلة توريد لبناء هذه السفن، وهي: شركة "كيه" لاين، وشركة ميتسو او.اس.كى لاينز، وشركة إن واي كيه لاين، وشركة ميتسوبيشي لبناء السفن، وشركة إيمباري لبناء السفن، وشركة جي إم يو، وشركة نيهون شيبيارد ("كيه" لاين وآخرون، 2024).

البحث والتطوير والتنفيذ التجريبي

في يونيو 2021، كلّفت المنظمة اليابانية لتطوير الطاقة الجديدة ائتلافًا تقوده شركة اليابان المحدودة لاحتجاز وتخزين الكربون ويضم الجمعية اليابانية لتطوير الهندسة وإيتوتشو كوربوريشن اليابان وشركة نيبون غاز لاين ليمتد (من نوفمبر 2023) ونيبون ستيل كوربوريشن (حتى مارس 2024)، بتنفيذ مشروع البحث والتطوير والتنفيذ التجريبي لنقل ثاني أكسيد الكربون بحرًا.

سعيًا إلى تنفيذ تقنيات احتجاز الكربون واستخدامه وتخزينه بحلول عام 2030 تقريبًا، يعمل المشروع على تطوير التقنيات والتنفيذ التجريبي لنقل ثاني أكسيد الكربون بحرًا من مصادر الانبعاث إلى نقاط الاستخدام أو التخزين لإنشاء نظام متكامل لنقل ثاني أكسيد الكربون المسال.

تُعَدّ الاختبارات التجريبية لنقل ثاني أكسيد الكربون المُسال بحرًا في درجات حرارة وضغوط منخفضة (حوالي - 50 درجة مئوية و0.7 ميجاباسكال) الأولى من نوعها عالميًا، ومن المتوقع أن تُسفِر عن نتائج مهمة في مجال النقل الآمن ومنخفض التكلفة وواسع النطاق لثاني أكسيد الكربون لمسافات طويلة.

منذ نوفمبر 2024، تنفذ السفينة التجريبية "إكسكول" عمليات نقل ثاني أكسيد الكربون ذهابًا وإيابًا بين محطتَي مايزورو وتوماكومـاي، حيث يُجرى تفريغ ثاني أكسيد الكربون المُسال وتخزينه وإعادة تحميله في كلا المحطتين تحت ظروف مختلفة من درجات الحرارة والضغط. من المقرر إعداد معايير السلامة والتصميم بعد جمع وتحليل بيانات الاختبارات التجريبية، بما يُسهم في التنفيذ العملي والاجتماعي لتقنيات احتجاز الكربون واستخدامه وتخزينه. من المقرر أيضًا إعداد القواعد الدولية اللازمة للنقل البحري واسع النطاق ولمسافات طويلة لثاني أكسيد الكربون المسال، إلى جانب نموذج عمل خاص بنقل ثاني أكسيد الكربون بحرًا.

سفينة النقل إكسكول، الصورة مُقدمة من شركة اليابان المحدودة لاحتجاز وتخزين الكربون.

قائمة المرافق

3.0

In Operation

Facility Name	Country	Operational Year	Industry	Capture Capacity (Mtpa CO_2)	Storage Type
Occidental Terrell	USA	1972	Natural Gas / LNG	0.5	N/A
Permian Pipeline Delivery System	USA	1972	CO_2 Transport / Storage	N/A (CO_2 Transport / Storage)	N/A
Enid Fertilizer	USA	1982	Hydrogen / Ammonia / Fertiliser	0.68	Enhanced Oil Recovery
Oxy Denver Unit	USA	1983	CO_2 Transport / Storage	N/A (CO_2 Transport / Storage)	Enhanced Oil Recovery
ExxonMobil Shute Creek Gas	USA	1986	Natural Gas / LNG	7	N/A
Scout Energy Rangely	USA	1986	CO_2 Transport / Storage	N/A (CO_2 Transport / Storage)	Enhanced Oil Recovery
Mol Szank Field CO_2-EOR	Hungary	1992	Natural Gas / LNG	0.16	Enhanced Oil Recovery
Equinor Sleipner CCS	Norway	1996	Natural Gas / LNG	1	Deep Saline Formation
Great Plains Synfuels Plant	USA	2000	Hydrogen / Ammonia / Fertiliser	3	N/A
Weyburn and Midale Oil Field	Canada	2000	CO_2 Transport / Storage	N/A (CO_2 Transport / Storage)	Enhanced Oil Recovery
Core Energy CO_2-EOR South Chester plant	USA	2003	Natural Gas / LNG	0.35	Enhanced Oil Recovery
Oxy Hobbs Field	USA	2003	CO_2 Transport / Storage	N/A (CO_2 Transport / Storage)	Enhanced Oil Recovery
Equinor Snohvit	Norway	2008	Natural Gas / LNG	0.7	Deep Saline Formation
Petrobras Santos Basin Pre-Salt Oil Field	Brazil	2008	Natural Gas / LNG	14.2	Enhanced Oil Recovery
Arkalon CO_2 Compression	USA	2009	Ethanol / Biomass Fermentation	0.5	Enhanced Oil Recovery
Delhi EOR Project	USA	2009	CO_2 Transport / Storage	N/A (CO_2 Transport / Storage)	Enhanced Oil Recovery
Longfellow WTO Century Plant	USA	2010	Natural Gas / LNG	5	N/A
ExxonMobil Gulf Coast Pipeline Network	USA	2011	CO_2 Transport / Storage	N/A (CO_2 Transport / Storage)	N/A
Bonanza BioEnergy CCS	USA	2012	Ethanol / Biomass Fermentation	0.1	Enhanced Oil Recovery
Yanchang Integrated Demonstration	China	2012	Chemical	0.05	Enhanced Oil Recovery
Air Products Valero Port Arthur Refinery	USA	2013	Hydrogen / Ammonia / Fertiliser	1	N/A
Nutrien Geismar CCS	USA	2013	Hydrogen / Ammonia / Fertiliser	0.3	N/A
Contango Lost Cabin Gas Plant	USA	2013	Natural Gas / LNG	0.9	N/A
Coffeyville Gasification Plant	USA	2013	Hydrogen / Ammonia / Fertiliser	0.85	Enhanced Oil Recovery
Carbfix Storage	Iceland	2014	CO_2 Transport / Storage	N/A (CO_2 Transport / Storage)	Mineral Carbonation
SaskPower Boundary Dam	Canada	2014	Coal Power Generation and Heat	1	N/A
CO_2 EOR Project Croatia	Croatia	2014	Natural Gas / LNG	0.4	Enhanced Oil Recovery
Aquistore Project	Canada	2014	CO_2 Transport / Storage	N/A (CO_2 Transport / Storage)	Deep Saline Formation

In Operation

Facility Name	Country	Operational Year	Industry	Capture Capacity (Mtpa CO_2)	Storage Type
Saudi Aramco Uthmaniyah	Saudi Arabia	2015	Natural Gas / LNG	0.8	Enhanced Oil Recovery
Shell Quest	Canada	2015	Hydrogen / Ammonia / Fertiliser	1.3	Deep Saline Formation
Xinjiang Dunhua Karamay	China	2015	Chemical	0.1	Enhanced Oil Recovery
ADNOC Al-Reyadah	United Arab Emirates	2016	Iron and Steel	0.8	Enhanced Oil Recovery
ADM Illinois Industrial	USA	2017	Ethanol / Biomass Fermentation	1	Deep Saline Formation
Petra Nova Carbon Capture	USA	2017	Coal Power Generation and Heat	1.4	Enhanced Oil Recovery
Campo Viejo Gas Processing Plant	USA	2018	Natural Gas / LNG	Not Specified	Enhanced Oil Recovery
CNPC Jilin Oil Field	China	2018	Natural Gas / LNG	0.6	Enhanced Oil Recovery
Midstream 30-30 Gas Plant	USA	2019	Natural Gas / LNG	0.01	Enhanced Oil Recovery
Chevron Gorgon	Australia	2019	Natural Gas / LNG	4	Deep Saline Formation
QatarEnergy LNG	Qatar	2019	Natural Gas / LNG	2.2	Deep Saline Formation
Enhance Clive Oil Field	Canada	2020	CO_2 Transport / Storage	N/A (CO_2 Transport / Storage)	Enhanced Oil Recovery
Wolf Alberta Carbon Trunk Line	Canada	2020	CO_2 Transport / Storage	N/A (CO_2 Transport / Storage)	N/A
Nutrien Redwater	Canada	2020	Hydrogen / Ammonia / Fertiliser	0.3	N/A
NWR Sturgeon Refinery	Canada	2020	Oil Extraction / Refining	1.6	N/A
Climeworks Orca	Iceland	2021	Direct Air Capture	0.004	N/A
China National Energy Guohua Jinjie 1	China	2021	Coal Power Generation and Heat	0.15	Not Specified
Sinopec Nanjing Chemical	China	2021	Chemical	0.2	Enhanced Oil Recovery
Yanchang Yan'an CO_2-EOR	China	2021	Chemical	0.1	Enhanced Oil Recovery
Dark Horse Storage	USA	2021	CO_2 Transport / Storage	N/A (CO_2 Transport / Storage)	Deep Saline Formation
Entropy Glacier Gas Plant (Phase 1A,1B)	Canada	2022	Natural Gas Power Generation and Heat	0.054	Deep Saline Formation
Gevo Net Zero North	USA	2022	Ethanol / Biomass Fermentation	0.18	Deep Saline Formation
Sinopec Qilu-Shengli	China	2022	Chemical	1	Enhanced Oil Recovery
Targa Red Hills natural gas processing complex	USA	2022	Natural Gas / LNG	0.5	Deep Saline Formation
Yanchang Yulin CO_2-EOR	China	2022	Chemical	0.3	Enhanced Oil Recovery
Barnett Zero CCS	USA	2023	Natural Gas / LNG	0.21	Deep Saline Formation
China National Energy Taizhou	China	2023	Coal Power Generation and Heat	0.5	Not Specified
China National Energy Xinjiang Chemicals CCUS Phase 1	China	2023	Chemical	Not Specified	Enhanced Oil Recovery

In Operation

Facility Name	Country	Operational Year	Industry	Capture Capacity (Mtpa CO_2)	Storage Type
CNOOC Enping Storage Demonstration	China	2023	Natural Gas / LNG	0.3	Deep Saline Formation
Guanghui Energy Methanol Plant Phase 1	China	2023	Chemical	0.1	Enhanced Oil Recovery
Harvestone Blue Flint Ethanol	USA	2023	Ethanol / Biomass Fermentation	0.2	Deep Saline Formation
Huaneng Yangpu Gas-fired Carbon Capture Demo Project	China	2023	Natural Gas Power Generation and Heat	0.002	N/A
Ngawha Geothermal Reinjection	New Zealand	2023	Geothermal Power Generation and Heat	0.1	Deep Saline Formation
Sinopec Jinling Petrochemical (Nanjing Refinery)	China	2023	Oil Extraction / Refining	0.3	Enhanced Oil Recovery
Climeworks Mammoth	Iceland	2024	Direct Air Capture	0.036	N/A
Eni Casalborsetti Natural Gas Plant	Italy	2024	Natural Gas Power Generation and Heat	0.02	N/A
Bantam DAC	USA	2024	Direct Air Capture	0.005	Enhanced Oil Recovery
Eni Ravenna Phase 1	Italy	2024	CO_2 Transport / Storage	N/A (CO_2 Transport / Storage)	Depleted Oil and Gas Field
Beijing BBMG Cement	China	2024	Cement and Concrete	0.1	Not Specified
China National Energy Ningxia Phase 1	China	2024	Chemical	3	Enhanced Oil Recovery
Qingzhou Oxy-Fuel Combustion Carbon Capture Project	China	2024	Cement and Concrete	0.2	N/A
Santos Moomba CCS	Australia	2024	Natural Gas / LNG	1.7	Depleted Oil and Gas Field
Xinjiang Jinlong Shenwu	China	2024	Coal Power Generation and Heat	0.2	Enhanced Oil Recovery
Northern Lights Transport and Storage	Norway	2024	CO_2 Transport / Storage	N/A (CO_2 Transport / Storage)	Deep Saline Formation
On Power Silverstone Geothermal Plant	Iceland	2025	Geothermal Power Generation and Heat	0.03	N/A
CF Industries Donaldsonville	USA	2025	Hydrogen / Ammonia / Fertiliser	2	N/A
Heidelberg Materials Brevik Cement Plant	Norway	2025	Cement and Concrete	0.4	N/A
CNOOC Bozhong 26-6	China	2025	Oil Extraction / Refining	Not Specified	Enhanced Oil Recovery
CNOOC Enping CCUS Project	China	2025	Natural Gas / LNG	0.1	Deep Saline Formation

In Construction

Facility Name	Country	Operational Year	Industry	Capture Capacity (Mtpa CO_2)	Storage Type
New Generation Gas Gathering (NG3)	USA	2025	Natural Gas / LNG	1.2	N/A
Imperial Oil Strathcona Refinery	Canada	2025	Hydrogen / Ammonia / Fertiliser	0.5	N/A
Green Plains Central City BioRefinery	USA	2025	Ethanol / Biomass Fermentation	0.33	N/A
Green Plains Wood River BioRefinery	USA	2025	Ethanol / Biomass Fermentation	0.35	N/A
Green Plains York Biorefinery	USA	2025	Ethanol / Biomass Fermentation	0.14	N/A
44.01 Project Hajar	Oman	2025	Direct Air Capture	0.001	Mineral Carbonation
Baotou Steel Phase 1	China	2025	Iron and Steel	0.5	Not Specified
China Resources Hainan Changjiang Cement	China	2025	Cement and Concrete	0.06	Not Specified
CNPC Huabei Oil Field	China	2025	Chemical	0.2	Enhanced Oil Recovery
Huaneng Longdong Energy Base	China	2025	Coal Power Generation and Heat	1.5	Enhanced Oil Recovery
Qatar Petroleum North Field East	Qatar	2025	Natural Gas / LNG	2.1	Not Specified
STRATOS (1PointFive Direct Air Capture)	USA	2025	Direct Air Capture	0.5	Deep Saline Formation
Trailblazer Pipeline	USA	2025	CO_2 Transport / Storage	N/A (CO_2 Transport / Storage)	N/A
Fluxys c-grid Antwerp Pipeline	Belgium	2026	CO_2 Transport / Storage	N/A (CO_2 Transport / Storage)	N/A
Linde Beaumont Hydrogen Plant	USA	2026	Hydrogen / Ammonia / Fertiliser	2.2	N/A
Orsted Asnaes CHP Plant	Denmark	2026	Bioenergy Power Generation and Heat	0.28	N/A
Orsted Avedore CHP Plant	Denmark	2026	Bioenergy Power Generation and Heat	0.15	N/A
Yara Sluiskil	Netherlands	2026	Hydrogen / Ammonia / Fertiliser	0.8	N/A
Air Liquide Rotterdam	Netherlands	2026	Hydrogen / Ammonia / Fertiliser	0.5	N/A
Shell Pernis Refinery Rotterdam	Netherlands	2026	Oil Extraction / Refining	1.15	N/A
ADNOC Habshan	United Arab Emirates	2026	Natural Gas / LNG	1.5	Not Specified
CNPC Xinjiang Karamay Coal-Fired Power Plant Integrated Project Phase 1	China	2026	Coal Power Generation and Heat		Enhanced Oil Recovery
BKV Cotton Cove CCS	USA	2026	Natural Gas / LNG	0.05	N/A
Entropy Glacier Gas Plant Phase 2	Canada	2026	Natural Gas Power Generation and Heat	0.16	Deep Saline Formation
Petronas Kasawari	Malaysia	2026	Natural Gas / LNG	3.7	Depleted Oil and Gas Field
QAFCO Ammonia-7 Blue Ammonia	Qatar	2026	Hydrogen / Ammonia / Fertiliser	1.5	Not Specified
Porthos CO_2 Transport and Storage	Netherlands	2026	CO_2 Transport / Storage	N/A (CO_2 Transport / Storage)	Depleted Oil and Gas Field

In Construction

Facility Name	Country	Operational Year	Industry	Capture Capacity (Mtpa CO_2)	Storage Type
Project Greensand	Denmark	2026	CO_2 Transport / Storage	N/A (CO_2 Transport / Storage)	Depleted Oil and Gas Field
BKV Freer	USA	2026	CO_2 Transport / Storage	N/A (CO_2 Transport / Storage)	Enhanced Oil Recovery
CapturePoint Solutions Central Louisiana Regional Carbon Storage (CENLA) Hub	USA	2027	CO_2 Transport / Storage	N/A (CO_2 Transport / Storage)	Deep Saline Formation
Air Products Rotterdam	Netherlands	2027	Hydrogen / Ammonia / Fertiliser	Under Evaluation	N/A
BKV East Texas	USA	2027	CO_2 Transport / Storage	N/A (CO_2 Transport / Storage)	Enhanced Oil Recovery
Northern Endurance Transport and Storage	United Kingdom	2028	CO_2 Transport / Storage	N/A (CO_2 Transport / Storage)	Deep Saline Formation
Eni Hynet North West CO_2 Transport and Storage	United Kingdom	2028	CO_2 Transport / Storage	N/A (CO_2 Transport / Storage)	Depleted Oil and Gas Field
Shell Atlas Carbon Storage Hub	Canada	2028	CO_2 Transport / Storage	N/A (CO_2 Transport / Storage)	Deep Saline Formation
Air Products Blue But Better	Canada	2028	Hydrogen / Ammonia / Fertiliser	3	N/A
Dow Fort Saskatchewan ethylene CCS	Canada	2028	Chemical	2	N/A
NZT Power	United Kingdom	2028	Natural Gas Power Generation and Heat	2	N/A
Beccs Stockholm	Sweden	2028	Bioenergy Power Generation and Heat	0.8	N/A
Shell Polaris (Scotford Complex)	Canada	2028	Hydrogen / Ammonia / Fertiliser	0.65	N/A
ADNOC Hail & Ghasha Concession Fields	United Arab Emirates	2028	Natural Gas / LNG	1.5	Enhanced Oil Recovery
Air Products Louisiana Clean Energy Complex	USA	2028	Hydrogen / Ammonia / Fertiliser	5	Deep Saline Formation
BP Tangguh LNG	Indonesia	2028	Natural Gas / LNG	3	Enhanced Gas Recovery
CF Industries Blue Point	USA	2029	Hydrogen / Ammonia / Fertiliser	2.3	N/A
Hafslund Oslo Celsio Waste-to-Energy Plant	Norway	2029	Waste-to-Energy	0.35	N/A
CNPC Jilin Pipeline	China	Under Evaluation	CO_2 Transport / Storage	N/A (CO_2 Transport / Storage)	N/A
Yulin Integrated Coal Liquefication	China	Under Evaluation	Chemical	4	Enhanced Oil Recovery

Read More: Click Here

To see the complete list of 734 faciliities in the CO_2RE data base as of 24 July 2025, including those in Early Development and Advanced Development, click here.

Amendments received after the cut-off date of 24 July:

Facility Name	Country	Amendment
PTTEP Arthit	Thailand	Status: In Construction
Eni Structures A&E	Libya	Status: Early Development
KAES Iowa Fertiliser Complex	USA	New Project in Construction
Saudi Aramco Blue Hydrogen	Saudi Arabia	New Project in Early Development
China National Energy Ningxia 3 Mtpa Phase 1	China	Status: In Operation Storage type: Deep Saline Formation and Enhanced Oil Recovery
CNPC Xinjiang Coal Power Plant Integrated 2 Mtpa Phase 1		Name and capture rate to 0.5 Mtpa
Yulin Chemical 4 Mtpa CCS Demonstration		Name and capture rate to 1 Mtpa
CNOOC Enping CCUS		Name and storage type: Deep Saline Formation
Huaneng Longdong Energy Base		Status: In Operation Storage type: Enhanced Oil Recovery
China National Energy Xinjiang Chemicals CCUS Phase 1		Removed
CNPC Jilin Pipeline		Operational year: 2026

References

4.0

References

Americas

Akhtar, S. (2025, July 16). The Tech Basic > News > Meta Files to Restart H20 Chip Sales as It Builds 5 GW Hyperion Cluster News Meta Files to Restart H20 Chip Sales as It Builds 5 GW Hyperion Cluster. The Tech Basic. https://thetechbasic.com/2025/07/16/meta-files-to-restart-h20-chip-sales-as-it-builds-5-gw-hyperion-cluster/

Aljbour, J., Wilson, T., & Patel, P. (2024). Powering Intelligence: Analyzing Artificial Intelligence and Data Center Energy Consumption.

BKV. (2025, February 13). BKV Announces FID on Carbon Capture Project with Leading Midstream Operator. BKV. https://ir.bkv.com/news-events/latest-news/detail/202/bkv-announces-fid-on-carbon-capture-project-with-leading-midstream-operator

Bloom Energy. (2025). 2025 Data Center Power Report From Gridlock To Growth: How Power Bottlenecks Are Reshaping Data Center Strategies. Bloom Energy. https://www.bloomenergy.com/wp-content/uploads/2025-Data-Center-Power-Report.pdf

Brazil. (2024a, October 8). Fuels of the Future Bill . Climate Policy Database Federal Law No. 14,993/2024. https://climatepolicydatabase.org/policies/fuels-future-bill-federal-law-no-149932024

Brazil. (2024b, December 12). President Lula signs law creating regulated carbon market in Brazil. Environment and Climate. https://www.gov.br/planalto/en/latest-news/2024/12/president-lula-signs-law-creating-regulated-carbon-market-in-brazil

Breakthrough Energy, L. (2022). Where to innovate first The Green Premium. Breakthrough Energy.

Canada Natural on behalf of Pathways Alliance. (2024, December 23). Oil Sands CCUS: Pathways Alliance. Alberta Government. https://natural-resources.canada.ca/funding-partnerships/oil-sands-ccus-pathways-alliance

Chevron. (2025, January 28). engine no.1, chevron and GE verona to power U.D data centers. Chevron. https://www.chevron.com/newsroom/2025/q1/power-solutions-for-us-data-centers

Cloudburst Data Centers. (2025). Our Central Texas Flagship. Cloudburst Data Centers. https://cloudburstdc.com/our-flagship/

Department of Energy. (2025, May 30). Secretary Wright Announces Termination of 24 Projects, Generating Over $3 Billion in Taxpayer Savings. Department of Energy. https://www.energy.gov/articles/secretary-wright-announces-termination-24-projects-generating-over-3-billion-taxpayer

EdgeConneX. (2025). PowerConneX II New Albany Energy Center, EdgeConneX Powers the AI Revolution Sustainably. EdgeConneX. https://www.edgeconnex.com/pcx-new-albany-energy-center-ii/

EIA. (2025). Levelized Costs of New Generation Resources in the Annual Energy Outlook 2025. https://www.eia.gov/outlooks/aeo/electricity_generation/pdf/AEO2025_LCOE_report.pdf

Environmental Protection Agency (EPA). (2025, June 17). Repeal of Greenhouse Gas Emissions Standards for Fossil Fuel-Fired Electric Generating Units. Federal Registry 2025-10991 (90 FR 25752). https://www.federalregister.gov/documents/2025/06/17/2025-10991/repeal-of-greenhouse-gas-emissions-standards-for-fossil-fuel-fired-electric-generating-units

EPA Underground Injection Control. (2025). Primary Enforcement Authority for the Underground Injection Control Program. EPA. https://www.epa.gov/uic/primary-enforcement-authority-underground-injection-control-program-0#who_loop

European Commission. (2024). CBAM Information per Sector. Taxation and Customs Union. https://taxation-customs.ec.europa.eu/carbon-border-adjustment-mechanism/cbam-information-sector_en

Frontier Infrastructure. (2025, July 15). Frontier Infrastructure Advances Power Platform with a Significant Turbine Technology Acquisition, $130 Million Senior Secured Equipment Supply Loan and Strategic Advisory Appointment. Frontier Infrastructure. https://frontierccus.com/news/frontier-infrastructure-advances-power-platform-with-a-significant-turbine-technology-acquisition-130-million-senior-secured-equipment-supply-loan-and-strategic-advisory-appointment

GCCSI. (2025, July 8). U.S. Preserves and Increases 45Q Credit in “One Big Beautiful Bill Act.” GCCSI. https://www.congress.gov/bill/119th-congress/house-bill/1/text

George, V. (2024, December 12). Exxon Wants To Satiate Power-hungry Data Centers With Natural Gas & Carbon Capture. Carbon Herald. https://carbonherald.com/exxon-mobil-power-data-centers-natural-gas-carbon-capture/

Giacobone, B. (2025, May 15). This data center developer is betting on Alberta to solve the power backlog. Lattitude Media. https://www.latitudemedia.com/news/this-data-center-developer-is-betting-on-alberta-to-solve-the-power-backlog/

Homer City Redevelopment. (2025, April 2). Homer City Redevelopment and Kiewit Announce Country’s Largest Natural Gas-Powered Data Center Campus to Support AI and HPC Demand. Homer City Redevelopment. https://www.homercityredevelopment.com/post/former-homer-city-pa-coal-plant-officially-reopens-as-state-of-the-art-natural-gas-facility

JERA Co.Inc. (2025, April 9). JERA Makes Final Investment Decision on “Blue Point” Low-Carbon Ammonia Production Project in the United States. JERA. https://www.jera.co.jp/en/news/information/20250409_2155

Li, M., Ferreira, J. P., Court, C. D., Meyer, D., Li, M., & Ingwersen, W. W. (2022). StateIO - Open Source Economic Input-Output Models for the 50 States of the United States of America. Sage Journals, 46 (4). https://journals.sagepub.com/doi/10.1177/01600176221145874

Louisiana Trade & Commerce. (2025, January 31). Inside Louisiana’s $10 Billion Deal of the Year: How the Meta AI Data Center Became a Reality. Louisiana Trade & Commerce.

Merchant, N. (2025, April 30). From ministers to mandate letters — Prime Minister Mark Carney’s first 100 days in office matters to carbon removal. Carbon Removal Canada.

Mexico. (2025). Mexican Emissions Trading System. International Carbon Action Partnership. https://icapcarbonaction.com/en/ets/mexican-emissions-trading-system

Microsoft. (2025). Carbon dioxide removal. Microsoft Corporate Responsibility. https://www.microsoft.com/en-us/corporate-responsibility/sustainability/carbon-removal-program

National Petroleum Council. (2019, December 12). Meeting the Dual Challenge, A Roadmap to At-Scale Deployment of Carbon Capture, Use, and Storage--Appendix D - ERM Memo: Economic Impacts of CCUS Deployment. National Petroleum Council. https://www.energy.gov/sites/default/files/2022-10/CCUS-Appendix_D_Final.pdf

Natural Resources Canada. (2025, July 4). Canada Invests in Carbon Capture and Storage in Alberta. Government of Canada. https://www.canada.ca/en/natural-resources-canada/news/2025/07/canada-invests-in-carbon-capture-and-storage-in-alberta.html

Ontiveros, J. E., Pandey, A., & Patel, D. (2025, June 25). AI Training Load Fluctuations at Gigawatt-scale – Risk of Power Grid Blackout? . Semianalysis. https://semianalysis.com/2025/06/25/ai-training-load-fluctuations-at-gigawatt-scale-risk-of-power-grid-blackout/

Panettieri, J. (2025, July 7). Google Sustainability News, Milestones, Cloud Partnerships and Net Zero Timeline. Sustainable Tech Partner. https://sustainabletechpartner.com/news/google-sustainability-news-milestones-cloud-partnerships-and-net-zero-timeline/

Pilz, K., Mahmood, Y., & Heim, L. (2025, January 28). AI’s Power Requirements Under Exponential Growth. Rand.

Schmidt, A., Gebrim, L., & Farbstein, E. (2025, March 19). The EU’s Carbon Border Adjustment Mechanism (CBAM), explained. Normative. https://normative.io/insight/eu-cbam-explained/

Stuckert, N., Smith, P., Garcia, D., & Alford, J. (2025). Meeting Data Center Electricity Demand Mapping carbon capture potential for natural gas-fired generators in the US and Canada June 30, 2025 Nicki Stuckert,. https://www.carbon-direct.com/research-and-reports/meeting-data-center-electricity-demand

The International CCS Knowledge Centre. (2024, November 2). Draft Protocol for CO_2 Capture and Permanent Geologic Sequestration. The International CCS Knowledge Centre. https://ccsknowledge.com/wp-content/uploads/2025/01/2024-11-29-changes-to-albertas-draft-quantification-protocol-for-co2-capture-and-permanent-geologic-sequestration-1.pdf

The White House. (2025, January 20). Putting America First In International Environmental Agreements. Executive Order (E.O.) 14162.

Williams. (2025a). Socrates Power Solution Facilities. Williams . https://www.williams.com/expansion-project/socrates-power-solution-facilities/

Williams, E. (2025b). Global Economic Net Zero (GENZO) model . In GCCSI.

Europe & UK

BECCS Stockholm. (2025, May 6). Stockholm Exergi extends landmark carbon removal agreement with

Microsoft. https://beccs.se/news/stockholm-exergi-extends-landmark-carbon-removal-agreement-with-microsoft/

Carbfix. (2025, May 8). Carbfix Secures Europe's First Storage Permit for Onshore Geological Storage of CO_2 . https://www.carbfix.com/newsmedia/carbfix-secures-europes-first-storage-permit-for-o

Carbon Herald. (2024, October 29). Pycasso Project Abandoned: A Setback For France's Carbon Capture Goals. https://carbonherald.com/pycasso-project-abandoned-a-setback-for-frances-decarbonization-goals/

CDU, CSU, & SPD. (2025). Verantwortung für Deutschland.

CINEA. (2025, April 2). CEF Energy launches €600 million call for energy infrastructure projects. https://cinea.ec.europa.eu/news-events/news/cef-energy-launches-eu600-million-call-energy-infrastructure-projects-2025-04-02_en

Clean Energy Wire. (2025, February 10). Failed law reform means Germany loses one year in efforts to establish CCS – cement industry. https://www.cleanenergywire.org/news/failed-law-reform-means-germany-loses-one-year-efforts-establish-ccs-cement-industry

Council of the EU. (2025). UK-EU Summit 2025 - Joint Statement. https://europa.eu/!4yDqkn

Czech Ministry of the Environment. (2025, March 13). Carbon dioxide capture will help reduce emissions and industrially utilize carbon. The government has passed an Action Plan for the Development of New Technologies. https://mzp-gov-cz.translate.goog/cz/pro-media-a-verejnost/aktuality/archiv-tiskovych-zprav/zachytavani-oxidu-uhliciteho-pomuze-snizit?_x_tr_sl=auto&_x_tr_tl=en&_x_tr_hl=fr&_x_tr_pto=wapp

Danish Energy Agency. (2025, May 16). 10 companies selected to compete for Denmark's CCS Fund with DKK 28.7 billion for Carbon Capture and Storage. https://ens.dk/en/press/10-companies-selected-compete-denmarks-ccs-fund-dkk-287-billion-carbon-capture-and-storage

Dutch Government. (2025, March 14). Routekaart Koolstofverwijdering. https://www.rijksoverheid.nl/documenten/rapporten/2025/03/14/bijlage-1-minvkgg-routekaart-koolstofverwijdering

Eni. (2025, May 27). Eni: exclusivity agreement signed with GIP for the potential sale of a co-control stake in Eni CCUS Holding. https://www.eni.com/en-IT/media/press-release/2025/05/pr-eni-exclusivity-agreement-GIP-sale-control-eni-ccus.html

European Commission. (2022). Communication from the Commission "Guidelines on State aid for climate, environmental protection and energy 2022." https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=celex%3A52022XC0218%2803%29

European Commission. (2024, December 3). Commission earmarks €4.6 billion to boost net-zero technologies, electric vehicle battery cell manufacturing and renewable hydrogen under the Innovation Fund. https://ec.europa.eu/commission/presscorner/detail/en/ip_24_6184

European Commission. (2025a). Commission approves €5 billion German State aid scheme to help industries decarbonise production processes. https://ec.europa.eu/commission/presscorner/api/files/document/print/es/ip_25_846/IP_25_846_EN.pdf

European Commission. (2025b). Commission Delegated Regulation of 8.7.2025 supplementing Directive (EU) 2024/1788 of the European Parliament and of the Council by specifying a methodology for assessing greenhouse gas emissions savings from low-carbon fuels. http://data.europa.eu/eli/dir/2024/1788/oj

European Commission. (2025c). Communication From The Commission – Framework for State Aid measures to support the Clean Industrial Deal (Clean Industrial Deal State Aid Framework). https://eur-lex.europa.eu/eli/C/2025/3602/oj

European Commission. (2025d). Communication from the Commission to the European Parliament, the Council, the European Economic and Social Committee and the Committee of the Region on the Clean Industrial Deal: A joint roadmap for competitiveness and decarbonisation. https://commission.europa.eu/topics/eu-competitiveness/clean-industrial-deal_en

European Commission. (2025e). The EU's 2030 carbon storage target. https://climate.ec.europa.eu/eu-action/industrial-carbon-management/eus-2030-carbon-storage-target_en

European Commission. (2025f, April 14). Have your Say "EU emissions trading system for maritime, aviation and stationary installations, and market stability reserve – review." https://ec.europa.eu/info/law/better-regulation/have-your-say/initiatives/14549-EU-emissions-trading-system-for-maritime-aviation-and-stationary-installations-and-market-stability-reserve-review_en

European Commission. (2025g, April 15). Have Your Say "Industrial Decarbonisation Accelerator Act - speeding up decarbonisation." https://ec.europa.eu/info/law/better-regulation/have-your-say/initiatives/14505-Industrial-Decarbonisation-Accelerator-Act-speeding-up-decarbonisation_en

European Commission. (2025h, May 6). European investment atlas of potential CO_2 storage sites. https://ec.europa.eu/info/funding-tenders/opportunities/portal/screen/opportunities/topic-details/horizon-cl5-2025-02-d3-26

European Commission. (2025i, May 21). Workshop: Perspectives on a Purchasing Programme for CRCF Permanent Carbon Removal Credits. https://climate.ec.europa.eu/citizens-stakeholders/events/workshop-perspectives-purchasing-programme-crcf-permanent-carbon-removal-credits-2025-05-21_en#:~:text=On%2021%20May%202025%2C%20DG,permanent%20carbon%20removal%20in%20Europe

Global CCS Institute. (2025). Carbon Contracts for Differences in Europe. https://www.globalccsinstitute.com/wp-content/uploads/2025/07/Carbon-Contracts-for-Differences-in-Europe-Global-CCS-Institute.pdf

Heidelberg Materials. (2025, June 18). World premiere at Heidelberg Materials: Opening of CCS facility in Norway marks new era of sustainable construction. https://www.heidelbergmaterials.com/en/pr-2025-06-18

HEREMA. (2025, February 19). Greece-Egypt MoU on CCS/CCUS cooperation signed at EGYPES. HEREMA to oversee implementation. https://herema.gr/greece-egypt-mou-on-ccs-ccus-cooperation-signed-at-egypes-herema-to-oversee-implementation/

Ineos. (2025, May 1). First European built offshore CO_2 Carrier to Be Christened and Launched on May 14. https://www.ineos.com/news/shared-news/first-european-built-offshore-co-carrier-to-be-christened-and-launched-on-may-14/

Kingdom of the Netherlands. (2025, July 15). Energy transition: UK-Netherlands memorandum of understanding. https://www.netherlandsandyou.nl/web/united-kingdom/engergy-transition-uk-netherlands-memorandum-of-understanding

North Sea Transition Authority. (2025). Guidance on Applications for a Carbon Storage Permit. https://www.nstauthority.co.uk/site-tools/access-to-information/

Norwegian Government. (2025a, June 17). Norway and Switzerland sign Agreement on cooperation on Carbon Capture, Utilisation and Storage and Carbon Dioxide Removal. https://www.regjeringen.no/en/aktuelt/norway-and-switzerland-sign-agreement-on-cooperation-on-carbon-capture-utilisation-and-storage-and-carbon-dioxide-removal/id3109305/

Norwegian Government. (2025b, June 23). Norway and France establish arrangement on cross border CO_2 transport and storage. https://www.regjeringen.no/en/aktuelt/norway-and-france-establish-arrangement-on-cross-border-co2-transport-and-storage/id3111158/

Official Journal of the EU. (2024). Regulation (EU) 2024/1735 of the European Parliament and of the Council of 13 June 2024 on establishing a framework of measures for strengthening Europe's net-zero technology manufacturing ecosystem and amending Regulation (EU) 2018/1724 (Text with EEA relevance). http://data.europa.eu/eli/reg/2024/1735/oj

Official Journal of the EU. (2025a). Commission Decision (EU) of 22 May 2025 specifying the pro-rata contributions to the Union CO_2 injection capacity objective by 2030 from entities holding an authorisation as defined in Article 1, point 3, of Directive 94/22/EC of the European Parliament and of the Council. http://data.europa.eu/eli/dir/1994/22/oj

Official Journal of the EU. (2025b). Commission Delegated Regulation (EU) of 21 May 2025 supplementing Regulation (EU) 2024/1735 of the European Parliament and of the Council by specifying the rules on the identification of authorised oil and gas producers who are required to contribute to the objective of reaching the Union-target for available CO_2 injection capacity by 2030, on the calculation of their respective contributions, and on their reporting obligations.

Romanian Government. (2025). Primary Assessment of Regions in Romania for Geological CO_2 Storage.

UK Department for Energy Security and Net Zero. (2025). CCS Network Code. https://assets.publishing.service.gov.uk/media/67865847f029f40e5088175f/ccs-network-code-2025.pdf

UK Government. (2024, December 10). Contracts signed for UK's first carbon capture projects in Teesside. https://www.gov.uk/government/news/contracts-signed-for-uks-first-carbon-capture-projects-in-teesside

UK Government. (2025, June 12). Funding secured for Britain's industrial future. https://www.gov.uk/government/news/funding-secured-for-britains-industrial-future

UK Government, Scottish Government, Welsh Government, & Department of Agriculture, E. and R. A. for N. I. (2024). UK Emissions Trading Scheme Scope Expansion: Maritime. https://www.gov.uk/government/consultations/uk-ets-scope-expansion-maritime-sector

UK Government, Scottish Government, Welsh Government, & Department of Agriculture, E. and R. A. for N. I. (2025). Integrating Greenhouse Gas Removals in the UK Emissions Trading Scheme: Main Response. https://assets.publishing.service.gov.uk/media/687f61598adf4250705c9765/uk-ets-ggrs-main-response.pdf

Vie Publique. (2025, June 24). Loi du 23 juin 2025 autorisant la ratification de la résolution LP.3(4) portant amendement de l'article 6 du Protocole de Londres de 1996 à la Convention de 1972 sur la prévention de la pollution des mers résultant de l'immersion de déchets et autres matières. https://www.vie-publique.fr/loi/294850-loi-23-juin-2025-ratification-resolution-prevention-pollution-des-mers

APAC & India

Australia Advancing Cross-Border Carbon Capture and Storage: Ratification of the 2009 Amendment to the London Protocol. (2024, November 14). Global CCS Institute: Latest News. https://www.globalccsinstitute.com/news-media/latest-news/australia-advancing-cross-border-carbon-capture-and-storage-ratification-of-the-2009-amendment-to-the-london-protocol/

Budgen, M. (2025, March 20). Carbon colonialism? Malaysia and Indonesia plan storage hubs for Asian emissions . Climate Home News.

(India Plans Ambitious Mission To Drive Carbon Capture, Utilisation And Storage (2024), Climate Change News, https://www.climatechangenews.com/2025/03/20/carbon-colonialism-malaysia-and-indonesia-plan-storage-hubs-for-asian-emissions/#:~:text=Malaysia%E2%80%99s%20oil%20company%20Petronas%20has%20signed%20at%20least,Borneo%20island%2C%20in%20the%20gas-producing%20region%20of%20Sarawak.

Bureau Of Energy Efficiency Office Memorandum Subject: Approved Sectors in Offset Mechanism under CCTS by Central Government. (2024). chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/https://beeindia.gov.in/sites/default/files/2024-10/OM%20for%20approved%20Sectors%20in%20Offset%20Mechanism%20under%20CCTS.PDF

Carbon and environmental price updates. (n.d.). CORE Markets. Retrieved July 14, 2025, from https://coremarkets.co/resources/market-prices

Choong, A., & Thani, D. J. (2025, April 28). Parliament passes Carbon Capture, Utilization and Storage Bill 2025. Rahmat Lim & Partners Perspectives. https://www.rahmatlim.com/publication/articles/30457/parliament-passes-carbon-capture-utilization-and-storage-bill-2025

Draps, F., & Ibnuaji, N. (2025, February 10). Indonesia CCS - New Regulation on Carbon Storage. Ashurst Legal Development. https://www.ashurst.com/en/insights/indonesia-ccs-new-regulation-on-carbon-storage/

Dutch company Royal Vopak strikes deal to build Australia's first CO_2 import terminal in Darwin. (n.d.). ABC News.

George, V. (2025, May 7). New Zealand Unveils Groundbreaking Carbon Capture Policy. Carbon Herald. https://carbonherald.com/new-zealand-unveils-groundbreaking-carbon-capture-policy/

India Plans Ambitious Mission To Drive Carbon Capture, Utilisation And Storage. (2024, August 9). Outlook Planet. https://www.outlookbusiness.com/planet/industry/india-plans-ambitious-mission-to-drive-carbon-capture-utilisation-and-storage

Moomba Carbon Capture and Storage. (n.d.). Retrieved July 14, 2025, from https://www.santos.com/moombaccs/

Net Zero Roadmap A Global Pathway to Keep the 1.5 °C Goal in Reach. (2023). https://iea.blob.core.windows.net/assets/8ad619b9-17aa-473d-8a2f-4b90846f5c19/NetZeroRoadmap_AGlobalPathwaytoKeepthe1.5CGoalinReach-2023Update.pdf

Savvides, N. (2025, June 30). ClassNK approves liquified CO_2/methanol combi-carrier. Seatrade Maritime News. https://www.seatrade-maritime.com/shipyards/classnk-approves-liquified-co2-methanol-combi-carrier

Middle East & Africa

SLB (2024). Jubail CCS Hub Press Release. https://www.slb.com/news-and-insights/newsroom/updates/2024/slb,-aramco-and-linde-enter-agreement-for-one-of-the-world%E2%80%99s-largest-carbon-capture-and-storage-hubs

Arab News (2024). Yanbu CCU Hub. https://www.arabnews.com/node/2581641/business-economy

Zawya (2025). Oman CO_2 Transport Infrastructure. https://www.zawya.com/en/economy/gcc/oman-plans-300-400km-hydrogen-pipeline-by-2030-qo86xfsx

Oman Observer (2024), Oman LNG Decarbonisation Strategy. https://www.omanobserver.om/article/1161006/business/energy/oman-lng-weighs-solar-pv-carbon-capture-projects

QatarEnergy (2024). Sustainability Report 2023. https://www.qatarenergy.qa/en/MediaCenter/Publications/Sustainability%20Report%202023.pdf.

DNV (2024). ADNOC Storage Certification. https://www.dnv.com/news/2024/dnv-certifies-first-co2-storage-site-in-the-middle-east-for-adnoc-carbon-capture-and-storage-project/

The Business (2025). CO_2-EOR in Kuwait. https://thebusinessyear.com/interview/anwar-al-mutlaq-kuwait-2025/?srsltid=AfmBOopyPGVQoD9wBMZCMD-1hhabnxTetGNaVu8a5BW0qnszt9qhXYJX

IFC (2025). Nigeria CO_2 Atlas. https://www.ifc.org/en/insights-reports/2025/nigerian-co2-storage-atlas

World Bank (2024). Development of CCS in South Africa https://documents1.worldbank.org/curated/en/099012225093532071/pdf/P14952112a6ed80a11aaab1f3e36b25e307.pdf

UAE Government (2024). Federal Decree-Law No. (11) of 2024 On the Reduction of Climate Change Effects. https://uaelegislation.gov.ae/en/legislations/2558/download

Abu Dhabi Environment Agency (2024). MRV Framework. https://www.mediaoffice.abudhabi/en/environment/environment-agency-abu-dhabi-launches-international-standard-carbon-measurement-reporting-and-verification-mrv-programme/ Foreign Ministry of Oman (2024). Oman Net Zero Centre Launch. https://www.fm.gov.om/oman-net-zero-centre-established/

Greek City Times (2025). Saudi CO_2 Export Plans. https://greekcitytimes.com/2025/01/30/greece-and-saudi-arabia-bolster-energy-partnership/

Egypt Government (2025). Egypt Greece CCS MOU. https://www.sis.gov.eg/Story/205007/Egypt-signs-MoU-on-carbon-capture-%26-storage-with-Greece

Oman Sustainability Week (2025). OQGN-Gasunie hydrogen and CCUS corridor. https://omansustainabilityweek.com/newfront/news/oqgn-gasunie-ink-mou-on-hydrogen-corridor-and-ccus

ADNOC (2024). Texas CCS Stake. https://adnoc.ae/en/news-and-media/press-releases/2024/khaled-bin-mohamed-bin-zayed-witnesses-signing-ceremony-for-adnoc-and-exxonmobil-to-partner

ADNOC (2024). Malaysia CCS Agreement. https://www.adnoc.ae/en/news-and-media/press-releases/2024/adnoc-petronas-and-storegga-to-collaborate-on-offshore-carbon-capture-and-storage-in-malaysia

Oxy (2025). XRG to explore JV in Oxy's DAC hub. https://www.oxy.com/news/news-releases/occidental-and-adnocs-xrg-agree-to-evaluate-joint-venture-to-develop-south-texas-direct-air-capture-hub/

Aramco Ventures (2025). Aramco Ventures Ucaneo's Seed Funding Round to Build Germany's Largest DAC. https://aramcoventures.com/news/aramco-ventures-joins-ucaneos-seed-funding-round-to-build-germanys-largest-direct-air-capture/

Reuters (2025). Aramco-Siemens DAC Pilot. https://www.reuters.com/sustainability/saudi-aramco-launches-first-direct-air-capture-test-unit-2025-03-20/

Zawya (2025). Cyclone CC UAE. https://www.zawya.com/en/press-release/companies-news/carbon-clean-announces-successful-completion-of-worlds-first-industrial-deployment-of-cyclonecc-yn9t512b

Aramco (2025), Aramco Air Products Qudra 50% Acquisition. https://www.aramco.com/en/news-media/news/2025/aramco-completes-acquisition-of-50-percent-stake-in-blue-hydrogen-industrial-gases-company

ADNOC (2024), UAE 44.01 Pilot. https://adnoc.ae/en/news-and-media/press-releases/2024/adnoc-and-4401-to-scale-up-carbon-torock-project-following-successful-pilot

Oman Sustainability week (2025), 44.01 Fund Raising. https://omansustainabilityweek.com/newfront/news/7030

Empower Africa (2024), Kenya DAC Funding. https://empowerafrica.com/kenyas-octavia-carbon-secures-5-million-in-seed-funding-to-advance-carbon-removal-from-air/

Gas World (2024), Neom Carboncure. https://www.gasworld.com/story/saudi-neom-partners-with-carboncure-and-gulf-cryo-on-low-carbon-concrete-push/2147548.article/

Saudi Green Initiative. (n.d.). Saudi Climate Vision. https://www.sgi.gov.sa/saudi-climate-vision/

Saudi Green Initiative. (n.d.). Reduce Carbon Emissions. https://www.sgi.gov.sa/about-sgi/sgi-targets/reduce-carbon-emissions/

Aramco. (n.d.). Carbon capture, utilization and storage. Retrieved July 28, 2025, from https://www.aramco.com/en/what-we-do/energy-innovation/advancing-energy-solutions/carbon-capture-utilization-and-storage

Clean Energy Ministerial. (2024, June 20). Overview of CCUS Programmes. https://www.cleanenergyministerial.org/content/uploads/2024/06/cemccus_ccusprogrammes_20jun2024.pdf

Aramco. (2025, May 28). Saudi Aramco launches the first direct air capture and carbon dioxide mineralization pilot project in the Kingdom. Retrieved July 28, 2025, from https://www.aramco.com/en/news-media/news/2025/saudi-aramco-launches-the-first-direct-air-capture-and-carbon-dioxide

Wright, A. (2024, December 3). Saudi NEOM partners with CarbonCure and Gulf Cryo on low-carbon concrete push. Gasworld. Retrieved July 28, 2025, from https://www.gasworld.com/story/saudi-neom-partners-with-carboncure-and-gulf-cryo-on-low-carbon-concrete-push/2147548.article/

Palanisamy, D. (31 October 2024). Saudi Arabia plans to tender 6 GW of CCS-ready gas power plants in 2025. Zawya Projects. Retrieved from https://www.zawya.com/en/projects/utilities/saudi-arabia-plans-to-tender-6-gw-of-ccs-ready-gas-power-plants-in-2025-x4n19m08

Regional Voluntary Carbon Market Company (RVCMC). (12 November 2024). RVCMC launches voluntary carbon market exchange platform to channel finance to high-quality climate projects. VCM. Retrieved from https://vcm.sa/en/media-detail/rvcmc-launches-voluntary-carbon-market-exchange-platform-to-channel-finance-to-high-quality-climate-projects/

Abu Dhabi National Oil Company (ADNOC). (6 September 2023). ADNOC takes final investment decision on world's first project that aims to operate with net-zero emissions. Retrieved from https://www.adnoc.ae/en/news-and-media/press-releases/2023/adnoc-takes-fid-on-worlds-first-project-that-aims-to-operate-with-net-zero-emissions

El Farsaoui, M., Abu Zahra, M., Griffiths, S., & Uratani, J. (2025). Establishing leadership in bringing carbon capture, utilisation and storage (CCUS) to scale. Energy Research & Social Science. Retrieved from https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2214629625000416

United Arab Emirates. (2024). Federal Decree-Law No. 11 of 2024 on the Reduction of Climate Change Effects. Retrieved May 30, 2025, from https://uaelegislation.gov.ae/en/legislations/2558

United Arab Emirates Cabinet. (10 June 2024). Cabinet Resolution No. 67 of 2024 concerning the National Register for Carbon Credits. Government of the United Arab Emirates. Retrieved from https://uaelegislation.gov.ae/en/legislations/2521

The Environment Agency – Abu Dhabi (EAD). (26 December 2024). Abu Dhabi champions GCC region with international-standard carbon Measurement, Reporting and Verification programme. EAD. Retrieved from https://www.ead.gov.ae/en/Media-Centre/News/Abu-Dhabi-Champions-GCC-Region-2024

DNV. (25 November 2024). DNV certifies first CO_2 storage site in the Middle East for ADNOC carbon capture and storage project. DNV Newsroom. Retrieved from https://www.dnv.com/news/2024/dnv-certifies-first-co2-storage-site-in-the-middle-east-for-adnoc-carbon-capture-and-storage-project/

United Arab Emirates Cabinet. (10 June 2024). Cabinet Resolution No. 67 of 2024 concerning the National Register for Carbon Credits. Government of the United Arab Emirates. Retrieved from https://uaelegislation.gov.ae/en/legislations/2521/download

United Arab Emirates. (4 January 2024). The United Arab Emirates First Long-Term Strategy: Demonstrating Commitment to Net Zero by 2050. Long-term low greenhouse gas emission development strategy (LT-LEDS). United Nations Framework Convention on Climate Change. Retrieved from https://unfccc.int/sites/default/files/resource/UAE_LTLEDS.pdf

QatarEnergy. (2024). Sustainability Report 2023. Retrieved from https://www.qatarenergy.qa/en/MediaCenter/Publications/Sustainability%20Report%202023.pdf

International Chamber of Commerce (ICC) Qatar & The Al-Attiyah Foundation. (31 May 2025). ICC Qatar launches Environment & Energy Commission to drive private-sector leadership on sustainability. Qatar Chamber. Retrieved from https://www.qatarchamber.com/icc-qatar-launches-environment-energy-commission/

Global CCS Institute. (5 December 2023). The Global CCS Institute to support Oman's Work Programme to scale up CCS climate technology. Retrieved from https://www.globalccsinstitute.com/news-media/press-room/media-releases/oman-ccs-work-programme/

Zawya. (May 2025). Oman Net Zero Centre launched. Zawya. Retrieved from https://www.zawya.com/en/economy/gcc/oman-net-zero-centre-launched-d3ej5h1o

FuelCellsWorks. (25 April 2025). Oman plans 300–400 km hydrogen pipeline by 2030. FuelCellsWorks. Retrieved from https://fuelcellsworks.com/2025/04/25/green-hydrogen/oman-plans-300-400km-hydrogen-pipeline-by-2030

SLB. (20 February 2024). Screening and ranking carbon storage sites in Western Egypt. SLB Case Study. Retrieved from https://www.slb.com/resource-library/case-study-with-navigation/sne/onshore-egypt-screening-and-ranking-cs

State Information Service (SIS). (9 May 2024). Egypt signs MoU on carbon capture & storage with Greece. SIS.gov.eg. Available at https://sis.gov.eg/Story/205007/Egypt-signs-MoU-on-carbon-capture-%26-storage-with-Greece?lang=en-us

Global CCS Institute Ltd & Oil and Gas Climate Initiative. (18 October 2024). Assessment of potential CCS hubs in Northern Egypt (Final FFS report). Retrieved from https://www.ogci.com/wp-content/uploads/2024/09/240802_FFS-Assessment-of-Potential-CCS-Hubs-in-Northern-Egypt_FINAL_EDT.pdf

Federal Republic of Nigeria. (2021). Climate Change Act, 2021. National Assembly of Nigeria. Retrieved from https://faolex.fao.org/docs/pdf/nig208055.pdf

Federal Republic of Nigeria. (2021). Petroleum Industry Act, 2021. National Assembly of Nigeria. Retrieved from https://gazettes.africa/archive/ng/2021/ng-government-gazette-dated-2021-08-27-no-142.pdf

International Finance Corporation. (2023). CO_2 Storage Atlas for Nigeria: Phase 1 Summary. Retrieved from https://www.templars-law.com/app/uploads/2025/05/International-Finance-Corporation-Publishes-Landmark-Nigerian-CO2-Storage-Atlas.pdf

Aminu, N. I. (12 January 2025). Current status of CCS development in Nigeria. The Way Ahead (TWA), JPT – Society of Petroleum Engineers. Retrieved from https://jpt.spe.org/twa/current-status-of-ccs-development-in-nigeria

World Bank Group & Kenya Private Sector Alliance (KEPSA). (2024). A Carbon Market Guidebook for Kenyan Enterprises. World Bank, Washington, D.C. Retrieved from https://documents1.worldbank.org/curated/en/099040424053541073/pdf/P1796801e6f92d053187b01916665fc998d.pdf

Climeworks AG & Great Carbon Valley. (21 September 2023). Climeworks and Great Carbon Valley chart path to large-scale direct air capture and storage deployment in Kenya. Retrieved from https://climeworks.com/press-release/climeworks-and-great-carbon-valley-chart-path-to-large-scale-dac

Government of Kenya (Ministry of Environment, Climate Change & Forestry). (2024). Climate Change (Carbon Markets) Regulations, 2024. Retrieved from https://new.kenyalaw.org/akn/ke/act/ln/2024/84/eng@2024-06-07

World Bank Group & International Finance Corporation (IFC). (2024). Building carbon market infrastructure and

mobilizing private climate capital in Kenya. World Bank / IFC Briefing. Retrieved from https://www.ifc.org/en/stories/2024/kenya-s-carbon-finance-moment

Republic of South Africa. (23 July 2024). Climate Change Act, 2024 (Act No. 22 of 2024). Department of Forestry, Fisheries & the Environment. Retrieved from https://www.gov.za/sites/default/files/gcis_document/202407/50966climatechangeact222024.pdf

Council for Geoscience. (2024). Annual Report 2023/2024. Retrieved from https://nationalgovernment.co.za/entity_annual/3838/2024-council-for-geoscience-%28cgs%29-annual-report.pdf

World Bank Group. (2024). Implementation Completion Report: South Africa Carbon Capture and Storage Development Project (P149521). Retrieved from https://documents1.worldbank.org/curated/en/099082924150033131/pdf/BOSIB10eef53aa0d5188ad14b94f0c2fa71.pdf

South African National Energy Development Institute (SANEDI). (2024). South African Centre for Carbon Capture and Storage (SACCCS). Retrieved from https://www.sanedi.org.za/sacccs/

International Emissions Trading Association (IETA). (2023). South Africa Carbon Market Brief. Retrieved from https://www.ieta.org/wp-content/uploads/2023/10/2023_IETA_BizBrief_South-Africa_V2.pdf

MEA Drivers & Enablers

Saudi Green Initiative. (n.d.). Saudi Climate Vision. https://www.sgi.gov.sa/saudi-climate-vision/

Saudi Green Initiative. (n.d.). Reduce Carbon Emissions. https://www.sgi.gov.sa/about-sgi/sgi-targets/reduce-carbon-emissions/

Aramco. (n.d.). Carbon capture, utilization and storage. Retrieved July 28, 2025, from https://www.aramco.com/en/what-we-do/energy-innovation/advancing-energy-solutions/carbon-capture-utilization-and-storage

Clean Energy Ministerial. (2024, June 20). Overview of CCUS Programmes. https://www.cleanenergyministerial.org/content/uploads/2024/06/cemccus_ccusprogrammes_20jun2024.pdf

Aramco. (2025, May 28). Saudi Aramco launches the first direct air capture and carbon dioxide mineralization pilot project in the Kingdom. Retrieved July 28, 2025, from https://www.aramco.com/en/news-media/news/2025/saudi-aramco-launches-the-first-direct-air-capture-and-carbon-dioxide

Wright, A. (2024, December 3). Saudi NEOM partners with CarbonCure and Gulf Cryo on low-carbon concrete push. Gasworld. Retrieved July 28, 2025, from https://www.gasworld.com/story/saudi-neom-partners-with-carboncure-and-gulf-cryo-on-low-carbon-concrete-push/2147548.article/

Palanisamy, D. (31 October 2024). Saudi Arabia plans to tender 6 GW of CCS-ready gas power plants in 2025. Zawya Projects. Retrieved from https://www.zawya.com/en/projects/utilities/saudi-arabia-plans-to-tender-6-gw-of-ccs-ready-gas-power-plants-in-2025-x4n19m08

Regional Voluntary Carbon Market Company (RVCMC). (12 November 2024). RVCMC launches voluntary carbon market exchange platform to channel finance to high-quality climate projects. VCM. Retrieved from https://vcm.sa/en/media-detail/rvcmc-launches-voluntary-carbon-market-exchange-platform-to-channel-finance-to-high-quality-climate-projects/

Abu Dhabi National Oil Company (ADNOC). (6 September 2023). ADNOC takes final investment decision on world's first project that aims to operate with net-zero emissions. Retrieved from https://www.adnoc.ae/en/news-and-media/press-releases/2023/adnoc-takes-fid-on-worlds-first-project-that-aims-to-operate-with-net-zero-emissions

El Farsaoui, M., Abu Zahra, M., Griffiths, S., & Uratani, J. (2025). Establishing leadership in bringing carbon capture, utilisation and storage (CCUS) to scale. Energy Research & Social Science. Retrieved from https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2214629625000416

United Arab Emirates. (2024). Federal Decree-Law No. 11 of 2024 on the Reduction of Climate Change Effects. Retrieved May 30, 2025, from https://uaelegislation.gov.ae/en/legislations/2558

United Arab Emirates Cabinet. (10 June 2024). Cabinet Resolution No. 67 of 2024 concerning the National Register for Carbon Credits. Government of the United Arab Emirates. Retrieved from https://uaelegislation.gov.ae/en/legislations/2521

The Environment Agency – Abu Dhabi (EAD). (26 December 2024). Abu Dhabi champions GCC region with international-standard carbon Measurement, Reporting and Verification programme. EAD. Retrieved from https://www.ead.gov.ae/en/Media-Centre/News/Abu-Dhabi-Champions-GCC-Region-2024

DNV. (25 November 2024). DNV certifies first CO_2 storage site in the Middle East for ADNOC carbon capture and storage project. DNV Newsroom. Retrieved from https://www.dnv.com/news/2024/dnv-certifies-first-co2-storage-site-in-the-middle-east-for-adnoc-carbon-capture-and-storage-project/

United Arab Emirates Cabinet. (10 June 2024). Cabinet Resolution No. 67 of 2024 concerning the National Register for Carbon Credits. Government of the United Arab Emirates. Retrieved from https://uaelegislation.gov.ae/en/legislations/2521/download

United Arab Emirates. (4 January 2024). The United Arab Emirates First Long-Term Strategy: Demonstrating Commitment to Net Zero by 2050. Long-term low greenhouse gas emission development strategy (LT-LEDS). United Nations Framework Convention on Climate Change. Retrieved from https://unfccc.int/sites/default/files/resource/UAE_LTLEDS.pdf

QatarEnergy. (2024). Sustainability Report 2023. Retrieved from https://www.qatarenergy.qa/en/MediaCenter/Publications/Sustainability%20Report%202023.pdf

International Chamber of Commerce (ICC) Qatar & The Al-Attiyah Foundation. (31 May 2025). ICC Qatar launches Environment & Energy Commission to drive private-sector leadership on sustainability. Qatar Chamber. Retrieved from https://www.qatarchamber.com/icc-qatar-launches-environment-energy-commission/

Global CCS Institute. (5 December 2023). The Global CCS Institute to support Oman's Work Programme to scale up CCS climate technology. Retrieved from https://www.globalccsinstitute.com/news-media/press-room/media-releases/oman-ccs-work-programme/

Zawya. (May 2025). Oman Net Zero Centre launched. Zawya. Retrieved from https://www.zawya.com/en/economy/gcc/oman-net-zero-centre-launched-d3ej5h1o

FuelCellsWorks. (25 April 2025). Oman plans 300–400 km hydrogen pipeline by 2030. FuelCellsWorks. Retrieved from https://fuelcellsworks.com/2025/04/25/green-hydrogen/oman-plans-300-400km-hydrogen-pipeline-by-2030

SLB. (20 February 2024). Screening and ranking carbon storage sites in Western Egypt. SLB Case Study. Retrieved from https://www.slb.com/resource-library/case-study-with-navigation/sne/onshore-egypt-screening-and-ranking-cs

State Information Service (SIS), 2024. Egypt signs MoU on carbon capture & storage with Greece. SIS.gov.eg, [online] 9 May. Available at: https://sis.gov.eg/Story/205007/Egypt-signs-MoU-on-carbon-capture-%26-storage-with-Greece?lang=en-us

Global CCS Institute Ltd & Oil and Gas Climate Initiative. (18 October 2024). Assessment of potential CCS hubs in Northern Egypt (Final FFS report). Retrieved from https://www.ogci.com/wp-content/uploads/2024/09/240802_FFS-Assessment-of-Potential-CCS-Hubs-in-Northern-Egypt_FINAL_EDT.pdf (ogci.com)

Federal Republic of Nigeria. (2021). Climate Change Act, 2021. National Assembly of Nigeria. Retrieved from https://faolex.fao.org/docs/pdf/nig208055.pdf

Federal Republic of Nigeria. (2021). Petroleum Industry Act, 2021. National Assembly of Nigeria. Retrieved from https://gazettes.africa/archive/ng/2021/ng-government-gazette-dated-2021-08-27-no-142.pdf

International Finance Corporation. (2023). CO_2 Storage Atlas for Nigeria: Phase 1 Summary. Retrieved from https://www.templars-law.com/app/uploads/2025/05/International-Finance-Corporation-Publishes-Landmark-Nigerian-CO2-Storage-Atlas.pdf

Aminu, N. I. (12 January 2025). Current status of CCS development in Nigeria. The Way Ahead (TWA), JPT – Society of Petroleum Engineers. Retrieved from https://jpt.spe.org/twa/current-status-of-ccs-development-in-nigeria

World Bank Group & Kenya Private Sector Alliance (KEPSA). (2024). A Carbon Market Guidebook for Kenyan Enterprises. World Bank, Washington, D.C. Retrieved from https://documents1.worldbank.org/curated/en/099040424053541073/pdf/P1796801e6f92d053187b01916665fc998d.pdf

Climeworks AG & Great Carbon Valley. (21 September 2023). Climeworks and Great Carbon Valley chart path to large-scale direct air capture and storage deployment in Kenya. Retrieved from https://climeworks.com/press-release/climeworks-and-great-carbon-valley-chart-path-to-large-scale-dac

Government of Kenya (Ministry of Environment, Climate Change & Forestry). (2024). Climate Change (Carbon Markets) Regulations, 2024. Retrieved from https://new.kenyalaw.org/akn/ke/act/ln/2024/84/eng@2024-06-07

World Bank Group & International Finance Corporation (IFC). (2024). Building carbon market infrastructure and mobilizing private climate capital in Kenya. World Bank / IFC Briefing. Retrieved from https://www.ifc.org/en/stories/2024/kenya-s-carbon-finance-moment (ifc.org)

Republic of South Africa. (23 July 2024). Climate Change Act, 2024 (Act No. 22 of 2024). Department of Forestry, Fisheries & the Environment. Retrieved from https://www.gov.za/sites/default/files/gcis_document/202407/50966climatechangeact222024.pdf

Council for Geoscience. (2024). Annual Report 2023/2024. Retrieved from https://nationalgovernment.co.za/entity_annual/3838/2024-council-for-geoscience-%28cgs%29-annual-report.pdf

World Bank Group. (2024). Implementation Completion Report: South Africa Carbon Capture and Storage Development Project (P149521). Retrieved from https://documents1.worldbank.org/curated/en/099082924150033131/pdf/BOSIB10eef53aa0d5188ad14b94f0c2fa71.pdf

South African National Energy Development Institute (SANEDI). (2024). South African Centre for Carbon Capture and Storage (SACCCS). Retrieved from https://www.sanedi.org.za/sacccs/

International Emissions Trading Association (IETA). (2023). South Africa Carbon Market Brief. Retrieved from https://www.ieta.org/wp-content/uploads/2023/10/2023_IETA_BizBrief_South-Africa_V2.pdf

MEA: G2G cross-border cooperation

Greek City Times, 2025. Greece and Saudi Arabia bolster energy partnership. Greek City Times, [online] 30 Jan. Available at: https://greekcitytimes.com/2025/01/30/greece-and-saudi-arabia-bolster-energy-partnership/

Saudi Gazette, 2024. Saudi, French energy ministers explore opportunities for investment and collaboration in key sectors. Saudi Gazette, [online] 19 Oct. Available at: https://www.saudigazette.com.sa/article/647586/SAUDI-ARABIA/Saudi-French-energy-ministers-explore-opportunities-for-investment-and-collaboration-in-key-sectors

State Information Service (SIS), 2024. Egypt signs MoU on carbon capture & storage with Greece. SIS. gov.eg, [online] 9 May. Available at: https://sis.gov.eg/Story/205007/Egypt-signs-MoU-on-carbon-capture-%26-storage-with-Greece?lang=en-us

Asharq Al-Awsat, 2024. Cyprus says Egypt's infrastructure helps unlock potential of its gas reserves. Asharq Al-Awsat, [online] 12 Jun. Available at: https://english.aawsat.com/business/5113781-cyprus-says-egypt%E2%80%99s-infrastructure-helps-unlock-potential-its-gas-reserves

Middle East News, 2024. Egypt and the UAE partner under decarbonization plan. M-Nation, [online] 5 Jun. Available at: https://mnation.uk/egypt-and-the-uae-partner-under-decarbonization-plan/

Hydrogen Insight, 2024. Oman and the Netherlands agree to jointly develop world's first liquid hydrogen corridor. Hydrogen Insight, [online] 25 Jan. Available at: https://www.hydrogeninsight.com/policy/oman-and-the-netherlands-agree-to-jointly-develop-worlds-first-liquid-hydrogen-corridor/2-1-1808501

Oman News Agency, 2024. Oman, Netherlands sign MoU to develop hydrogen supply chain. Oman News, [online] 24 Jan. Available at: https://omannews.gov.om/topics/en/80/show/123316

Observer, 2025. EDO seeks partners to support energy transition, ICV. Oman Daily Observer, [online] 1 Jun. Available at: https://omannews.gov.om/topics/en/80/show/12293

MEA: 2B cross-border cooperation

Oman Daily Observer, 2024. OQGN, Gasunie ink MoU on hydrogen corridor and CCUS. Oman Daily Observer, [online] 18 Oct. Available at: https://www.omanobserver.om/article/1169174/business/energy/oqgn-gasunie-ink-mou-on-hydrogen-corridor-and-ccus

ExxonMobil, 2024. ADNOC and ExxonMobil partnering in world's largest low-carbon hydrogen facility. ExxonMobil News Release, 4 September. Available at: https://corporate.exxonmobil.com/news/news-releases/2024/0904_adnoc-and-exxonmobil-partnering-in-worlds-largest-low-carbon-hydrogen-facility

PETRONAS, 2024. PETRONAS, ADNOC and Storegga collaborate on offshore carbon capture and storage. PETRONAS Media Release, 7 May. Available at: https://www.petronas.com/media/media-releases/petronas-adnoc-and-storegga-collaborate-offshore-carbon-capture-and-storage

Occidental, 2024. Occidental and ADNOC's XRGE agree to evaluate joint venture to develop South Texas Direct Air Capture Hub. News Release, 16 May. Available at: https://www.oxy.com/news/news-releases/occidental-and-adnocs-xrg-agree-to-evaluate-joint-venture-to-develop-south-texas-direct-air-capture-hub/

Aramco Ventures, 2024. Aramco Ventures joins UCaneo's seed funding round to build Germany's largest direct air capture. News Release, 11 June. Available at: https://aramcoventures.com/news/aramco-ventures-joins-ucaneos-seed-funding-round-to-build-germanys-largest-direct-air-capture/

Oman LNG, 2025. Oman LNG signs agreement with Japan's Kanadevia Corporation to conduct pre-FEED and concept study for methanation pilot plant. Oman LNG Press Release, 23 June. Available at: https://www.kanadevia.com/english/newsroom/news/assets/pdf/FY2025-37.pdf

China

GCCSI. (2024). China begins operations at the world's largest oxy-fuel combustion CCUS project in cement sector. GCCSI . https://www.globalccsinstitute.com/resources/insights/china-begins-operations-at-the-worlds-largest-oxy-fuel-combustion-ccus-project-in-cement-sector/

ISO. (2024). ISO/TC 265 Carbon dioxide capture, transportation, and geological storage. https://www.iso.org/committee/648607.html

MarineLink. (2025, July 31). World's First Ship-to-Ship LCO_2 Transfer Completed in Shanghai. MarineLink.

Offshore Energy. (2025a, February 20). Yinson Production names world's first FPSO sporting post-combustion carbon capture tech. https://www.offshore-energy.biz/yinson-production-names-worlds-first-fpso-sporting-post-combustion-carbon-capture-tech/

Offshore Energy. (2025b, June 3). Northern Lights: Ready, set, go with first CO_2 on board. Offshore-Energy. Biz. https://www.offshore-energy.biz/northern-lights-ready-set-go-with-first-co2-on-board/

SCIO (2025, May 22). China's first offshore carbon capture, utilization and storage project put into operation. The State Council Information Office, The People's Republic of China. http://english.scio.gov.cn/index.htm

SASAC. (2025, February 25). World's First Carbon Capture-Enabled FPSO Vessel Named. State-Owned Assets Supervision and Administrative Commission of the State Council. http://en.sasac.gov.cn/2025/02/25/c_18876.htm

Japan

JOGMEC. (2025, May). Guideline for LCO_2 ship. https://www.jogmec.go.jp/news/release/news_10_00214.html

"K" LINE et al. (2024, August). Joint study for LCO_2 ship. https://www.mol.co.jp/en/pr/2024/24097.html

Ministry of Finance et al. (2024). Japan Climate Transition Bonds Allocation Report for FY2023. https://www.meti.go.jp/policy/energy_environment/global_warming/transition/climate.transition.bond.allocation.report.fy2023.eng.pdf

NEDO. (2025, July). Green Innovation Fund. Accessed Date :July 2025. https://green-innovation.nedo.go.jp/en/project/development-co2-separation-recovery/

Twence CCU Facility, Europe, image courtesy of SLB Capturi.

Key Terms & Acronyms

Project status - definition

Early Development
Is completing or has completed a pre-feasibility or feasibility study.

Advanced Development
Is completing or has completed a front-end engineering and design (FEED).
For storage sites, the proponent is completing a submission or submitted a field development plan or equivalent to regulators.

In Construction
A positive final investment decision (FID) has been reached.

In Operation
CO_2 is being actively captured, transported, and stored or utilised/converted.

***Announced** Has been announced and is recognised by all proponents (via media release, memorandum of understanding, etc). Announced projects are included in CO_2RE database but not included in the Institute's reported data, for example in the Facilities List of the Global Status Report.

Acronyms in this report

BECCS Bioenergy with Carbon Capture and Storage
capex Capital Expenditure
CBAM Carbon Border Adjustment Mechanism
CCfD Carbon Contract for Difference
CCS Carbon Capture and Storage
CCUS Carbon Capture Utilisation and Storage
CDR Carbon Dioxide Removal
CEM Clean Energy Ministerial
CER Certified Emission Reduction
CO_2 Carbon Dioxide
CO_2e Carbon Dioxide Equivalent
COP Conference of the Parties (UNFCCC)
DAC Direct Air Capture
DACCS Direct Air Capture and Storage
EC European Commission
EEA European Economic Area
EU European Union
FID Final Investment Decision
IEA International Energy Agency
IPCC Intergovernmental Panel on Climate Change
IPR Intellectual Property Rights
ISO International Organization for Standardization
JV Joint Venture
ktpa Kilotonne per Annum
LNG Liquefied Natural Gas
MoU Memorandum of Understanding
MRV Measurement, Reporting, and Verification
Mt Million Tonne
Mtpa Million Tonnes per Annum
MW Megawatt/s
NDC Nationally Determined Contribution
NG Natural Gas
NGCC with CCS natural gas combined cycle with CCS
opex Operational Expenditure
R&D Research and Development
tpa Tonne per Annum
tpd Tonne per Day
UAE United Arab Emirates
UK United Kingdom
UN United Nations
UNFCCC United Nations Framework Convention on Climate Change
US United States (of America)

Key terms in this report

CCS/CCUS The process of capturing CO_2 formed during fossil fuel-fired power generation and industrial processes and storing it so that it is not emitted into the atmosphere. CCS or carbon capture and storage includes utilisation when CO_2 storage is permanent and verified. CCUS is the preferred term in some regions.

utilisation/conversion Includes the conversion of captured carbon oxides, primarily CO_2, into economically valuable products such as chemicals, fuels, building materials, plastics, and bioproducts. It also includes use of CO_2 as a working fluid for enhanced hydrocarbon recovery (EOR or EGR). Conversion is used when referring to carbon uptake, catalytic conversion, and mineralisation. Utilisation is used when referring to enhanced hydrocarbon recovery with monitoring and verification for long-term storage.

geologic storage Refers to CO_2 storage in dedicated reservoirs and enhanced hydrocarbon recovery projects that include monitoring, verification, and reporting of the amount of CO_2 stored.

carbon management Includes both natural and technological solutions for removing ambient CO_2 from the air or capturing CO_2 emissions from industrial processes, with the goal of preventing/mitigating their contribution to climate change. These solutions encompass CDR technologies (such as direct air capture and reforestation), and carbon capture technologies (which capture CO_2 emissions from higher concentration sources like fossil fuel-fired power plants and refineries).

CDR includes activities that remove CO_2 from the atmosphere and durably store it in geological, terrestrial, or ocean reservoirs, or in products. CDR includes enhancement of biological or geochemical sinks and DAC/DACCS but excludes natural CO_2 uptake not directly caused by human intervention.

DAC/DACCS A process that removes CO_2 from ambient air. When paired with CO_2 storage strategies, it is referred to as DACCS.

Project Terms

facility One company (or JV) owning a full value chain is one facility regardless of the distance between capture and storage. One company owning CO_2 transport and storage infrastructure is one facility. Two separate power stations with CCS owned by one company would be two facilities.

cluster A geographic concentration of interconnected businesses, suppliers, and associated institutions, typically due to proximity to raw materials, transport options such as ports, or to labour supply and markets.

hub Central collection or distribution point for CO_2. One hub would service the collection of CO_2 from a capture cluster, or the distribution of CO_2 to a storage cluster.

network A connection between two facilities via the use of a transport facility, regardless of ownership.

- Capture network: CO_2 captured and collected from multiple facilities with different owners.
- Transport/storage networks: CO_2 collected from multiple facilities, transported through one or more types of transport (pipeline, truck, ship) and stored in one or more storage sites.

anchor project A large emitter that provides a significant proportion of the CO_2 in a cluster of CO_2 capture projects. Typically bears the fixed costs of the initial infrastructure.

Acknowledgements

We are grateful for the Members of the Global CCS Institute, whose Membership enables the Institute to develop catalytic thought leadership pieces, led by our flagship Global Status Report, as well as a variety of other publications that can be found on our website. Thank you also to the Institute's global team of specialists for their time, effort, and care in developing this publication.

GLOBAL CCS INSTITUTE

Find out more

The Global CCS Institute is a leading global authority on CCS. Our members include governments, companies, research bodies and NGOs, all with a commitment to CCS as part of achieving a net zero future.

Any questions

Get in touch with the institute at info@globalccsinsitute.com or through our website at globalccsinstitute.com/contact

Head office

Level 23, Tower 5, 727 Collins Street,
Melbourne VIC 3008 Australia
+61 (0)3 8620 7300

Please use the following to reference the report: Global CCS Institute, 2025. Global Status of CCS 2025 Australia

Design by Principle Design
principledesign.com.au

Copyright © 2025 Global CCS Institute

The information in this document is supplied by the Global Carbon Capture and Storage Institute Ltd (Global CCS Institute) and is subject to the provisions outlined in this section. The receipt of this document by the persons or entity named at the front of this document or any other recipient (Recipient) evidences acceptance of these provisions. This document is addressed solely to the Recipient and is for their sole review only and may not be provided or disclosed to any other person without the prior written consent of Global CCS Institute. If these provisions are not agreed and accepted by the Recipient, this document and any copies of it must be immediately returned to Global CCS Institute or otherwise destroyed.

This document has been made available to the Recipient for information purposes only and is not intended to be and does not constitute any form of offering document, advice or recommendation. To the maximum extent permitted by law, Global CCS Institute and its affiliates, associates, related bodies corporate, shareholders, officers, employees, partners, representatives, agents, advisers and consultants (each a Relevant Person) expressly disclaim all liability for any loss or damage (including but not limited to for negligence, default or lack of care) for use or reliance on the information in this document or any information which is made available in connection with any further or related enquiries, including any commercial or investment decisions made on the basis of information provided in this document.

This document has been prepared on the basis of publicly available information or other information known to Global CCS Institute at the time this document was compiled, and the accuracy of such information has not been independently verified by the Global CCS Institute or any Relevant Person. Global CCS Institute does not guarantee that the information in this publication is totally reliable, accurate or complete and therefore the information in this document must not be relied upon when making commercial, investment or other decisions. Neither the Global CCS Institute nor any Relevant Persons make any representation or warranty (express or implied) as to the accuracy, sufficiency or completeness of the contents of this document and accept no liability for use or reliance of any information in this document.

This document is based on information available as at the date of this report, unless specified otherwise. The Recipient acknowledges that circumstances may change, and the contents of this document may become outdated as a result. Neither Global CCS Institute nor any Relevant Persons will be under any obligation to provide the Recipient with access to any additional information, to update this document or to correct any inaccuracies that may become apparent in this document after the date of its issue.