



Distr.: General
8 June 2023

Arabic
Original: English

بروتوكول مونتريال بشأن المواد المستنفدة لطبقة الأوزون

الاجتماع الخامس والثلاثون لأطراف في
بروتوكول مونتريال بشأن المواد المستنفدة
لطبقة الأوزون

نيروبي، 23-27 تشرين الأول/أكتوبر 2023
البند 3 من جدول الأعمال المؤقت للجزء الرفيع المستوى*
عروض أفرقة التقييم بشأن تقريرها التجميعي للتقييم الذي
يصدر كل أربع سنوات عن العام 2022

تجميع تقارير التقييم للعام 2022 الصادرة عن فريق التقييم العلمي وفريق تقييم الآثار البيئية وفريق التقييم التكنولوجي والاقتصادي

مذكرة من الأمانة

1- تعرض هذه المذكرة، في مرفقها، تقريراً تجميعياً يسلط الضوء على النتائج الرئيسية لتقارير التقييم الفصلية
الثلاثة التالية لعام 2022 التي أعدت عملاً بالمادة 6 من بروتوكول مونتريال بشأن المواد المستنفدة لطبقة الأوزون:

(أ) التقييم العلمي لاستنفاد الأوزون: 2022، الذي أعده فريق التقييم العلمي؛

(ب) الآثار البيئية لاستنفاد الأوزون الاستراتوسفيري والأشعة فوق البنفسجية والتفاعلات مع تغير المناخ:
تقرير التقييم لعام 2022، الذي أعده فريق تقييم الآثار البيئية؛

(ج) فريق التقييم التكنولوجي والاقتصادي: تقرير التقييم للعام 2022، الذي أعده فريق التقييم
التكنولوجي والاقتصادي.

2- وأعد التقرير التجميعي الرؤساء المشاركون لأفرقة التقييم. وتنتشر تقارير التقييم الفردية على البوابات
الإلكترونية للأفرقة المعنية في الموقع الشبكي لأمانة الأوزون⁽¹⁾ وعلى البوابة الشبكية للاجتماع الخامس والأربعين
للفريق العامل المفتوح العضوية للأطراف في بروتوكول مونتريال⁽²⁾، لكي تنتظر فيها الأطراف. وتود الأمانة أن
تعرب عن خالص امتنانها لأفرقة التقييم الثلاثة على عملها.

* UNEP/OzL.Pro.35/1

<https://ozone.unep.org/science/assessment/sap>; <https://ozone.unep.org/science/assessment/eeap>; (1)

<https://ozone.unep.org/science/assessment/teap>.

<https://ozone.unep.org/meetings/45th-meeting-open-ended-working-group-parties/pre-session-documents> (2)

تجميع تقارير التقييم للعام 2022 الصادرة عن فريق التقييم العلمي وفريق تقييم الآثار البيئية وفريق التقييم التكنولوجي والاقتصادي

الرؤساء المشاركون لأفرقة التقييم

فريق التقييم العلمي

ديفيد و. فاهي، الإدارة الوطنية لدراسة المحيطات والغلاف الجوي، مختبر بحوث نظم الأرض، شعبة العلوم الكيميائية، الولايات المتحدة الأمريكية.
بول أ. نيومان، الإدارة الوطنية للملاحة الجوية والفضاء، مركز غودارد للطيران الفضائي، الولايات المتحدة الأمريكية.
جون أ. بايل، جامعة كامبريدج، المركز الوطني لعلوم الغلاف الجوي، المملكة المتحدة لبريطانيا العظمى وأيرلندا الشمالية.
بونفيس سفاري، جامعة رواندا، كلية العلوم والتكنولوجيا، رواندا.

فريق تقييم الآثار البيئية

بول بارنز، جامعة لويولا، نيو أورلينز، الولايات المتحدة الأمريكية.
جانيت ف. بورنمان، جامعة مردوخ، البحوث والتعليم والتدريب في مجال الزراعة القابلة للتكيف مع تغير المناخ، معهد مستقبل الأغذية، أستراليا.
كريشنا ك. باندي، معهد علوم وتكنولوجيا الأخشاب، الهند.

فريق التقييم التكنولوجي والاقتصادي

بيلا أ. مارانيون، وكالة الولايات المتحدة لحماية البيئة، الولايات المتحدة الأمريكية.
مارتا بيزانو، خبيرة مستقلة، كولومبيا.
آشلي وودكوك، الصندوق الاستئماني لمؤسسة الخدمات الصحية الوطنية بجامعة مانشستر، المملكة المتحدة لبريطانيا العظمى وأيرلندا الشمالية.

أولاً- مقدمة

1- كُلف فريق التقييم العلمي وفريق تقييم الآثار البيئية وفريق التقييم التكنولوجي والاقتصادي بتقديم تقييمات دورية في مجالات خبرتها إلى الأطراف في بروتوكول مونتريال بشأن المواد المستفدة لطبقة الأوزون. ويقدم هذا التقرير موجزاً تجميعاً رفيع المستوى لتقارير التقييم لعام 2022 الصادرة عن الأفرقة الثلاثة. ويُسلط الضوء هنا على المسائل العلمية والتكنولوجية المرتبطة ببروتوكول مونتريال، إلى جانب المنافع المناخية والبيئية للبروتوكول، وتناقش بالتفصيل في تقارير التقييم الفردية لهذه الأفرقة:

فريق التقييم العلمي

(<https://ozone.unep.org/science/assessment/sap>)

فريق تقييم الآثار البيئية

(<https://ozone.unep.org/science/assessment/eeap>)

فريق التقييم التكنولوجي والاقتصادي

(<https://ozone.unep.org/science/assessment/teap>)

2- ويقدم هذا التقرير معلومات مستكملة تبرز نجاح بروتوكول مونتريال في الحد من الإطلاقات الجوية من المواد المستفدة للأوزون ومركبات الكربون الهيدروفلورية، مما يؤدي إلى تقليل استنفاد الأوزون في الاستراتوسفير، وتجنب المساهمات الإضافية في تغير المناخ، وحماية البيئة. والمؤشرات على أن هذه الإجراءات تؤدي إلى تعافي الأوزون واضحة بشكل متزايد، وخاصة فيما يخص الأوزون في طبقة الاستراتوسفير العليا وفوق منطقة أنتاركتيكا. ومع تنفيذ تعديل كيغالي لعام 2016 لبروتوكول مونتريال الرامي لخفض مركبات الكربون الهيدروفلورية تدريجياً، سيتم تجنب قدر كبير من الاحترار المناخي في المستقبل، إضافة إلى ذلك الذي تم تجنبه بسبب انخفاض إنتاج واستهلاك المواد المستفدة للأوزون بموجب البروتوكول.

3- وقد أمكن بسبب بروتوكول مونتريال تجنب التأثيرات الكبيرة على صحة الإنسان والبيئة الناجمة عن استنفاد الأوزون الاستراتوسفيري وما ينتج عنه من زيادات في الأشعة فوق البنفسجية. وبما أن التعافي الكامل لطبقة الأوزون سيستغرق عدة عقود، فإن الرصد الطويل الأجل للمواد المستفدة للأوزون ومركبات الكربون الهيدروفلورية والأوزون والأشعة فوق البنفسجية لا يزال أمراً أساسياً.

ثانياً- النتائج الرئيسية

ألف- استمرت الإجراءات المتخذة بموجب بروتوكول مونتريال في خفض الإطلاقات الجوية من المواد المستفدة للأوزون الخاضعة للرقابة في الغلاف الجوي وتعزيز استعادة طبقة الأوزون الاستراتوسفيرية

4- انخفضت الإطلاقات في الغلاف الجوي لكل من الكلور الكلي في التروبوسفير والبروم الكلي في التروبوسفير من المواد المستفدة للأوزون المعمرة منذ التقييم الذي يجري كل أربع سنوات لعام 2018. وكانت معدلات الانخفاض المرصودة في الكلور التروبوسفيري والبروم التروبوسفيري في المواد الخاضعة للرقابة بموجب بروتوكول مونتريال $15,4 \pm 4,1$ جزء من الترليون من الكلور في السنة و $0,18 \pm 0,05$ جزء من الترليون في السنة على التوالي، أي قريبة من السيناريو المرجعي لتقييم عام 2018. وزاد الكلور التروبوسفيري من الغازات القصيرة العمر جداً، التي تكون مصادرها أساساً بشرية المنشأ والتي لا تخضع للرقابة بموجب بروتوكول مونتريال، بمقدار $2,1 \pm 0,6$ جزء من الترليون من الكلور في السنة.

5- ولا يزال التقدم مستمراً على صعيد التخلص التدريجي من المواد المستفدة للأوزون في كل قطاع سكني وتجاري وصناعي وزراعي وطبي وعسكري، حيث تم بالفعل التخلص التدريجي من إنتاج واستهلاك المواد المستفدة للأوزون في العديد من التطبيقات في جميع أنحاء العالم:

- اكتمل التخلص التدريجي من استهلاك وإنتاج مركب الكربون الهيدروكلوري فلوري - 22 بشكل أساسي في الأطراف غير العاملة بموجب المادة 5 وهو مستمر في الأطراف العاملة بموجب المادة 5.
- أحرز تقدم كبير في التخلص التدريجي من استخدام مركبات الكربون الهيدروكلورية فلورية في الرغوى. وهناك عوامل نفخ رغو بديلة مستخدمة تجارياً اليوم في كل تطبيق رغو تقريباً.
- اكتمل تقريباً التخلص التدريجي من الاستخدامات الخاضعة للرقابة لبروميد الميثيل، ولكن لا تزال هناك استخدامات كبيرة في الحجر الصحي ومعالجات ما قبل الشحن، حيث إنها معفاة حالياً من ضوابط بروتوكول مونتريال. ومع ذلك، فقد تم تحديد بدائل، وهي مستخدمة في بعض البلدان، لنسبة جيدة من هذه الاستخدامات.
- يعتبر التخلص التدريجي من المواد الخاضعة للرقابة في استخدامات التعقيم كاملاً. إن البدائل المجدية تقنياً واقتصادياً متاحة تجارياً لجميع استخدامات الهباء الجوي، على الرغم من أن جميع البدائل ليست مناسبة لجميع التطبيقات في جميع المواقع.

• تتوفر المواد المبردة البديلة ذات قدرات الاحترار العالمي المنخفضة لجميع تطبيقات التبريد وتكييف الهواء والمضخات الحرارية، والتي تمثل غالبية انبعاثات مركبات الكربون الهيدروكلورية فلورية ومركبات الكربون الهيدروفلورية. ويجري استخدام هذه البدائل على نطاق واسع في بعض التطبيقات والمناطق، ولكن صعوبة الحصول على هذه البدائل لا تزال تشكل عائقاً رئيسياً أمام اعتماد المواد المبردة ذات قدرة الاحترار العالمي المنخفضة على نطاق واسع والتقدم نحو تحقيق أهداف الجداول الزمنية للتخفيض التدريجي لتعديل كيغالي.

6- وقد تعززت الأدلة على تعافي الأوزون بما يتسق مع الانخفاضات في الإطلاقات الجوية من المواد المستفدة للأوزون:

- يستمر عمود الأوزون الكلي في أنتاركتيكا في التعافي، على الرغم من التباين الكبير بين السنوات في حجم ثقب الأوزون وقوته وطول عمره، والذي يحركه التقلب بين السنوات في الأرصاد الجوية.
- أما خارج منطقة أنتاركتيكا (من 90 درجة شمالاً إلى 60 درجة جنوباً) فإن الثقة في الأدلة المحدودة على تعافي عمود الأوزون الكلي منذ عام 1996 منخفضة.
- ومن المتوقع أن يعود عمود الأوزون الكلي إلى قيم عام 1980 في عام 2066 تقريباً في أنتاركتيكا، وفي عام 2045 تقريباً في منطقة القطب الشمالي، وفي عام 2040 تقريباً للمتوسط شبه العالمي (60 درجة شمالاً - 60 درجة جنوباً).

7- وتختلف الاتجاهات في الأوزون الاستراتوسفيري باختلاف الارتفاع وكذلك المنطقة الجغرافية:

- خارج المنطقتين القطبيتين، تتفق عمليات الرصد والنماذج على أن الأوزون في طبقة الاستراتوسفير العليا مستمر في التعافي.
- على النقيض من ذلك، لم يُظهر الأوزون في طبقة الاستراتوسفير السفلى علامات على التعافي بعد.
- تحاكي النماذج تعافياً طفيفاً في الأوزون في طبقة الاستراتوسفير السفلية في خطوط العرض الوسطى في نصفي الكرة الأرضية لا يُرى في عمليات الرصد. والتوفيق بين هذا التناقض أمر أساسي لضمان الفهم الكامل لتعافي الأوزون.

8- وحتى الآن، لا يوجد دليل منشور على أن عمليات الإغلاق المرتبطة بجائحة مرض فيروس كورونا (كوفيد-19) أثرت على اتجاهات إطلاقات المواد المستفدة للأوزون في الغلاف الجوي أو بدائلها، أو في الأوزون الاستراتوسفيري. ومن المفهوم أن نقص المعروض من البدائل ذات قدرة الاحترار العالمي المنخفضة قد بدأ في عام 2020 بسبب مسائل سلاسل الإمداد والمسائل اللوجستية المرتبطة بجائحة كوفيد-19، ونقص المواد الخام، ومسائل التصنيع، والطقس القاسي، وتزامن ذلك مع زيادة الطلب العالمي. وفي حين أن مسائل الإمداد هذه أقل حدة الآن، فإنها ستحتاج إلى رصد دقيق لأن النقص الممتد في الإمدادات يمكن أن يؤخر الانتقال بعيداً عن مركبات الكربون الهيدروفلورية عبر مختلف قطاعات الاستخدام.

باء - يسهم بروتوكول مونتريال في الاستدامة البيئية وصحة الإنسان ورفاهيته، تمشياً مع العديد من أهداف التنمية المستدامة

9- يواصل بروتوكول مونتريال المساهمة في تنفيذ العديد من أهداف التنمية المستدامة من خلال حماية طبقة الأوزون الاستراتوسفيري والمساهمة في التخفيف من آثار تغير المناخ. وتتعلق الأهداف ذات الصلة بتغير المناخ، ونوعية الهواء والماء، والتنوع البيولوجي والنظم الإيكولوجية، والإنتاج والاستهلاك المستدامين، والأمن الغذائي،

والملوثات والمواد، وصحة الإنسان. وبالتالي فإن بروتوكول مونتريال له أهمية واسعة النطاق للاستدامة من خلال حماية صحة الإنسان والحفاظ على النظم الإيكولوجية الصحية والمتنوعة على الأرض وفي الماء.

10- وكانت المستويات السطحية للإشعاع فوق البنفسجي ذي الآثار البيولوجية (UV-B) ستزداد في جميع أنحاء العالم بدون بروتوكول مونتريال وكانت التغييرات ستكون أكبر في المناطق القطبية (على سبيل المثال، كان مؤشر الأشعة فوق البنفسجية في أنتاركتيكا في منتصف الصيف سيزداد من 3 إلى 33 بين عامي 1975 و 2065). علاوةً على ذلك، قدرت دراسة نمذجة ذات سيناريو متطرف أن تأثير الزيادات الكبيرة في الإشعاع فوق البنفسجي ذي الآثار البيولوجية على النباتات الأرضية في عالم خال من بروتوكول مونتريال كان من شأنه أن يقلل بشكل كبير من امتصاص النباتات لثاني أكسيد الكربون بعملية التمثيل الضوئي. هذا الانخفاض في عزل الكربون سيؤدي بدوره إلى زيادة مستويات ثاني أكسيد الكربون في الغلاف الجوي، مما يؤدي إلى ارتفاع إضافي في متوسط درجة حرارة السطح العالمية من 0,5-1,0 درجة مئوية بحلول عام 2100.

11- ومن خلال حماية الأرض من الإشعاع فوق البنفسجي الشديد القوة ذي الآثار البيولوجية، يؤدي بروتوكول مونتريال دوراً رئيسياً في حماية صحة الإنسان. وقارنت إحدى دراسات النمذجة بروتوكول مونتريال، بصيغته المعدلة، بالسيناريو المتطرف المتمثل في زيادة انبعاثات المواد المستفدة للأوزون غير الخاضعة للتظيم بمعدل 3 في المائة سنوياً طوال القرن الحادي والعشرين. وقدر التحليل أنه أمكن تجنب 11 مليون حالة من حالات سرطان الجلد و432 مليون حالة من حالات سرطان الخلايا القاعدية والخلايا الحرشفية (سرطانات الخلايا الكيراتينية) و63 مليون حالة من حالات إعتام عدسة العين (السبب الرئيسي للعمى على مستوى العالم) للأشخاص الذين ولدوا في الولايات المتحدة الأمريكية بين عامي 1890 و 2100 بسبب بروتوكول مونتريال. وقد أمكن تجنب ما يقرب من نصف هذه الحالات بسبب التعديلات التي أدخلت على بروتوكول مونتريال الأصلي لعام 1987. كما مكن بروتوكول مونتريال من الاستمرار في الحصول على الآثار الصحية المفيدة (مثل إنتاج فيتامين (د) وتحسين وظيفة الجهاز المناعي) للتعرض المعتدل لأشعة الشمس من خلال قضاء الوقت في الهواء الطلق.

12- وتتسبب الأشعة فوق البنفسجية الشمسية في تحلل ضوئي للمواد البلاستيكية مما يؤدي في النهاية إلى تجزئة وتكوين الجسيمات البلاستيكية الدقيقة والنانوية (جزئيات قطرها أقل من 5 مم و 0,1 ميكرومتر، على التوالي). ومن المحتمل أن يكون تنفيذ بروتوكول مونتريال قد منع الزيادات في توليد الجسيمات البلاستيكية الدقيقة في البيئة، على الرغم من أن مقدار هذا التخفيض وتبعاته البيولوجية لا تزال غير مؤكدة.

جيم- الانخفاضات الكبيرة في انبعاثات مركبات الكربون الهيدروفلورية المتوقعة من تطبيق أحكام تعديل كيغالي ستحمي المناخ في المستقبل بشكل كبير

13- يتزايد استخدام مركبات الكربون الهيدروفلورية كبديل للمواد المستفدة للأوزون في التبريد وتكييف الهواء، وفي قطاعي الأيروسولات والرغوة، وكعوامل لإخماد الحرائق. وفي حين أن هذه المركبات لا تحتوي على الكلور أو البروم المستفد للأوزون إلا أنها غازات احتباس حراري. ويحدد تعديل كيغالي، الذي اعتمد في عام 2016 ودخل حيز التنفيذ في عام 2019، جداول زمنية للتخفيض التدريجي لإنتاج واستهلاك مركبات كربون هيدروفلورية محددة على المستوى العالمي. وعلى الرغم من أن القسر الإشعاعي الناتج عن مركبات الكربون الهيدروفلورية صغير في الوقت الحالي، فإن تعديل كيغالي مصمم لتجنب الزيادة غير الخاضعة للرقابة في الانبعاثات والاحتراق المرتبط به الذي كان يمكن أن ينتج عن الزيادات المتوقعة في الطلب خلال العقود القادمة.

14- وتستمر الإطلاقات في الغلاف الجوي لمعظم مركبات الكربون الهيدروفلورية المقيسة حالياً في الازدياد، كما كان متوقعاً في السيناريو المرجعي لتقييم عام 2018. وزادت الانبعاثات العالمية من مركبات الكربون الهيدروفلورية، التي تنشأ من كل من الأطراف العاملة وغير العاملة بموجب المادة 5، بنسبة 18 في المائة بين عامي 2016 و 2020 بوحدات مكافئ ثاني أكسيد الكربون (CO₂eq).

15- إن انبعاثات مركبات الكربون الهيدروفلورية المتوقعة حالياً أقل من تلك المتوقعة في تقييم عام 2018. والانبعاثات التراكمية للفترة 2020-2050 في سيناريو تعديل كيغالي المحدث لعام 2022 أقل بمقدار 14-18 بيكوغرام من مكافئ ثاني أكسيد الكربون مما كانت عليه في السيناريو المقابل في التقييم السابق. ويتبع السيناريو الجديد الضوابط الوطنية على استهلاك وإنتاج مركبات الكربون الهيدروفلورية في البلدان غير العاملة بموجب المادة 5، ويعكس انخفاض الاستهلاك المبلغ عنه في الصين، ويستند إلى معلومات تاريخية محدثة عن استخدام مركبات الكربون الهيدروفلورية في البلدان غير العاملة بموجب المادة 5، ويستخدم نسب الخط المرصودة حتى عام 2020 كقيد ويتضمن افتراضات بشأن انخفاض استخدام مركبات الكربون الهيدروفلورية في التبريد التجاري والصناعي. ويفترض السيناريو الجديد أيضاً أن جميع البلدان ستلتزم بأحكام تعديل كيغالي.

16- ومن المتوقع أن يبلغ المتوسط السنوي للاحتراق السطحي من مركبات الكربون الهيدروفلورية 0,04 درجة مئوية في عام 2100 بموجب سيناريو تعديل كيغالي المحدث لعام 2022، مقارنة ب 0,3-0,5 درجة مئوية بدون تدابير التحكم. ومن شأن التخفيض التدريجي لمركبات الكربون الهيدروفلورية بسرعة أكبر من تلك المطلوبة بموجب تعديل كيغالي أن يحد بشكل أكبر من تغير المناخ الناتج عن مركبات الكربون الهيدروفلورية.

17- إن الانبعاثات العالمية لمركب الكربون الهيدروفلوري-23 البالغة $17,2 \pm 0,8$ ألف طن في السنة في عام 2019 المستمدة من عمليات رصد الغلاف الجوي أعلى بكثير من الانبعاثات البالغة 2,2 ألف طن في السنة لتلك السنة المستمدة من التقديرات القائمة على الأنشطة. هذه التقديرات القائمة على الأنشطة مستمدة من تقارير الانبعاثات بموجب اتفاقية الأمم المتحدة الإطارية بشأن تغير المناخ، والمعلومات المتعلقة بالإنتاج وخفض الانبعاثات المقدمة بموجب بروتوكول مونتريال، والأثر المقدر للوائح الوطنية. ولا تتسق مستويات مركب الكربون الهيدروفلوري-23 في الغلاف الجوي مع الارتفاع الكبير في خفض الانبعاثات المبلغ عنه إلى أمانة اتفاقية الأمم المتحدة الإطارية بشأن تغير المناخ.

18- ومن المتوقع أن تزداد انبعاثات مركب الكربون الهيدروفلوري - 23 في العقود القادمة. ويتم إطلاق المركب HFC-23 في شكل ناتج عرضي عند إنتاج مركب الكربون الهيدروفلوري-22 (HCFC-22) وفي عمليات أخرى. وتشمل هذه العمليات الأخرى إنتاج مركب الكربون الهيدروفلوري -32، وتصنيع رابع فلوريد الإيثيلين (TFE) وسادس فلوريد البروبيلين (HFP) من المادة الخام لمركب الكربون الهيدروكلوري فلوري -22، وعمليات إنتاج مركبات الكربون الفلورية الأخرى (مثل مركب الكربون الهيدروفلوري -125 ومركب الكربون الهيدروفلوري -134a ومركب الكربون الهيدروفلوري -143a) وبعض خطوات إنتاج الأوليفينات الهيدروفلورية.

19- ويعمل التخفيض التدريجي المقرر لمركبات الكربون الهيدروفلورية بموجب تعديل كيغالي، فضلاً عن اللوائح الوطنية والإقليمية، على توجيه الصناعة نحو بدائل مركبات الكربون الهيدروفلورية ذات قدرة الاحتراق العالمي المنخفضة والتطبيقات المبتكرة، وخاصة فيما يتعلق بالتبريد وتكييف الهواء والريغوى. ومع ذلك، فإن مجموعة المنتجات الجديدة ذات قدرة الاحتراق العالمي المنخفضة تخلق تحديات في العثور على أفضل حل لكل تطبيق، مع مراعاة عوامل مثل القابلية للاشتعال والسمية والتوافر والتكلفة وسهولة الوصول وظروف التشغيل.

20- وينتج حمض الخليك الثلاثي الفلور (TFA) في الغلاف الجوي عن تحلل بعض مركبات الكربون الهيدروفلورية، ومركبات الكربون الهيدروكلورية فلورية، والأوليفينات الهيدروفلورية، والأوليفينات الهيدروكلوروفلورية والكيوتونات الفلورية. ويترسب حمض الخليك الثلاثي الفلور المتكون في الغلاف الجوي بسرعة في التساقط الجوي وعند الوصول إلى سطح (التربة أو الماء) يشكل أملاح مع معادن قلووية (مثل الصوديوم والبوتاسيوم والكالسيوم). إن أملاح حمض الخليك الثلاثي الفلور غير تفاعلية ولها عمر بيئي طويل ولكن يتم إفرازها بسهولة من قبل الحيوانات وبالتالي لا تتراكم بيولوجياً في السلسلة الغذائية. ومثل الأملاح المعدنية الأخرى، تتراكم أملاح حمض الخليك الثلاثي الفلور في المحيطات والبحيرات المالحة. ومن المتوقع أن يزداد تكوين هذا الحمض في الغلاف الجوي في العقود القادمة بسبب زيادة استخدام الأوليفينات الهيدروفلورية والأوليفينات الهيدروكلوروفلورية. وفي حين

أن الحمض لا يزال موجوداً في البيئة، بما في ذلك في المناطق النائية، فإن التركيزات منخفضة جداً بحيث يعتقد حالياً أنه من غير المرجح أن يكون لها عواقب سمية ضارة على الإنسان والنظم الإيكولوجية. ومع ذلك، ينصح بمواصلة الرصد والتقييم بسبب أوجه عدم اليقين فيما يخص الترسيب الموضعي للحمض وآثاره المحتملة على بعض الكائنات البحرية غير المختبرة.

دال - تنطوي التحسينات في الكفاءة في استخدام الطاقة أثناء التخفيض التدريجي لمركبات الكربون الهيدروفلورية على إمكانية تسريع وزيادة الفوائد المناخية من تعديل كيغالي

21- هناك طلب عالمي متزايد بسرعة على التبريد وتكييف الهواء. ويمكن أن يؤدي تحسين كفاءة الطاقة في معدات التبريد وتكييف الهواء والمضخات الحرارية الجديدة بشكل متزامن مع التخفيض التدريجي لمركبات الكربون الهيدروفلورية إلى استخدام معتدل للطاقة، مما قد يضاعف الفائدة المناخية من التخفيض التدريجي لمركبات الكربون الهيدروفلورية. وهذا يمكن أن يقدم مساهمة فعالة من حيث التكلفة وعلى المدى القريب في الطريق إلى صافي انبعاثات صفري من غازات الاحتباس الحراري. ويمكن أن يؤدي التحول المبكر إلى استخدام هذه المعدات الفعالة التي تحتوي على بدائل منخفضة القدرة على إحداث الاحتراق العالمي إلى تقليل تكاليف الطاقة وتجنب تراكم مصارف المواد المبردة من مركبات الكربون الهيدروفلورية العالية القدرة على إحداث الاحتراق العالمي.

22- وتتقدم التطورات التكنولوجية بوتيرة سريعة، وتتوفر معدات التبريد وتكييف الهواء والمضخات الحرارية التي تستخدم مبردات منخفضة ومتوسطة قدرة الاحتراق العالمي وتتميز بزيادة في كفاءة استخدام الطاقة في جميع القطاعات، ولكنها ليست بالضرورة متاحة في جميع البلدان.

هاء - أدت الإجراءات الناجحة التي اتخذتها الأطراف إلى عكس الاتجاه التصاعدي للانبعاثات غير المتوقعة التي لوحظت بين عامي 2013 و2017

23- بينما وجد تقييم لجنة التقييم العلمي لعام 2018 أن انبعاثات مركب الكربون الكلوري فلوري -11 العالمية زادت بشكل غير متوقع في الفترة 2013-2017، خلص تقييمها لعام 2022 إلى أن انبعاثات هذا المركب العالمية انخفضت بعد عام 2018. وأدت الزيادة الأولية في انبعاثات المركب إلى عدد من التحقيقات العلمية والاستجابات السياسية. ونتيجة لذلك، انخفضت انبعاثات المركب إلى 45 ± 10 غيغرام في كل من عامي 2019 و2020. ويشير هذا الانخفاض إلى القضاء على معظم الانبعاثات غير المتوقعة التي حدثت في السنوات التي تلت عام 2012.

24- وقد نشأ جزء كبير من انبعاثات مركب الكربون الكلوري فلوري -11 غير المتوقعة من شرق الصين. وتستند هذه النتيجة إلى الملاحظات الإقليمية المتاحة من عدة مواقع في شرق آسيا. ويفسر انخفاض انبعاثات المركب من شرق الصين منذ عام 2018 ما نسبته 60 ± 30 في المائة من الانخفاض الملحوظ في الانبعاثات العالمية. وفي حين أن الشبكة العالمية لمحطات الرصد السطحي توفر تقديرات لمجموع انبعاثات المركب، فإن الشبكة متفرقة جغرافياً إلى حد لا يمكنها من إجراء تقييم كامل للانبعاثات الإقليمية.

25- ولا يمكن للانبعاثات من مصارف مركب الكربون الكلوري فلوري -11 وحدها أن تفسر الزيادة غير المتوقعة في الفترة 2013-2017، مما يشير إلى أن إنتاج واستخدام هذا المركب غير المبلغ عنه في تلك الفترة، كان على الأرجح متعلقاً بالرغوى ذات الخلايا المغلقة. وقد يكون الإنتاج غير المبلغ عنه قد حدث أيضاً في وقت سابق، في الفترة 2007-2012.

26- وتشير عمليات الرصد الإقليمية إلى أن بعض انبعاثات مركب الكربون الكلوري فلوري -12 ربما تكون مرتبطة بإنتاج مركب الكربون الكلوري فلوري -11 غير المبلغ عنه. وتعد أوجه عدم اليقين في الانبعاثات من المصارف والثغرات في شبكة الرصد كبيرة جداً بحيث لا يمكن تحديد ما إذا كانت جميع انبعاثات مركب الكربون الكلوري فلوري -12 غير المتوقعة قد توقفت.

واو - تستمر إطلاقات رابع كلوريد الكربون الجوية في الانخفاض بمعدل أبطأ من المتوقع بناء على الاتجاهات السابقة

27- استمرت إطلاقات رابع كلوريد الكربون في الغلاف الجوي في الانخفاض، ولكن بمعدلات أبطأ مما كان متوقعاً استناداً إلى الاتجاهات السابقة. وبلغ متوسط تقديرات انبعاثات هذا المركب العالمية المستندة إلى ملاحظات الغلاف الجوي 15 ± 44 غيغا غرام في السنة في كل من عامي 2016 و2020.

28- وتظهر انبعاثات رابع كلوريد الكربون الإقليمية من شرق الصين خلال الفترة 2013-2019 تقلباً من سنة إلى أخرى من المحتمل أن يكون مرتبطاً بإنتاج مركب الكربون الكلوري فلوري-11. وزادت الانبعاثات بعد عام 2013، لتصل إلى $1,9 \pm 11,3$ جيغا غرام في السنة في عام 2016، وانخفضت إلى $1,1 \pm 6,3$ جيغا غرام في السنة في عام 2019.

29- وقد زاد إنتاج رابع كلوريد الكربون في السنوات الأخيرة ويرجع ذلك أساساً إلى تزايد الطلب على استخدام المواد الوسيطة لإنتاج مركبات الكربون الهيدروفلورية والأوليفينات الهيدروفلورية/الهيدروكلوروفلورية والإيثيلين البيركلوري. ومن المرجح أن تستمر زيادة إنتاج هذا المركب بسبب الطلب المتزايد على الأوليفينات الهيدروفلورية/الهيدروكلوروفلورية. وتتسبب معظم الانبعاثات من إنتاج رابع كلوريد الكربون ومناولته وسلسلة التوريد الخاصة به واستخدامه. ومن المحتمل أن تتسبب انبعاثات إضافية من هذا المركب من إنتاج الميثان غير الكلوري، كما هو الحال في عملية إنتاج سلسلة الفينيل، والتي تم تحديدها كمصدر محتمل جديد لانبعاثات رابع كلوريد الكربون.

زاي - الإطلاقات الجوية لعدد من المواد المستنفدة للأوزون الثانوية ظلت تتزايد؛ ويمكن أن يؤثر تراكم هذه المواد على الأوزون الاستراتوسفيري في نهاية المطاف

30- زادت الإطلاقات الجوية العالمية للأنواع الثانوية مركب الكربون الكلوروفلوري-13 ومركب الكربون الكلوروفلوري-112a ومركب الكربون الكلوروفلوري-113a ومركب الكربون الكلوروفلوري-114a ومركب الكربون الكلوروفلوري-115 من $0,3 \pm 16,0$ جزء في الترليون في عام 2016 إلى ما مجموعه $0,3 \pm 17,2$ جزء من الترليون من الكلور في عام 2020. وتؤكد عمليات رصد الغلاف الجوي أن شرق آسيا منطقة مصدرة أساسية. ومن المحتمل أن تشير هذه النتائج إلى زيادة أو استقرار انبعاثات هذه المركبات ذات الإطلاقات الجوية المنخفضة نسبياً. ومن المحتمل أن تحدث بعض هذه الانبعاثات غير المبررة كتسرب للمواد الأولية أو المنتجات الثانوية، والباقي غير مفهوم. هذه الأنواع لها تأثير طفيف على كمية الكلور في الاستراتوسفير واستنفاد الأوزون الاستراتوسفيري.

31- ولا يتحكم بروتوكول مونتريال في إنتاج واستخدام المذيبات المكلورة القصيرة العمر التي يستخدم بعضها بكميات كبيرة. ويختلف تأثيرها على الأوزون الاستراتوسفيري، وقدرات استنفاد الأوزون، تبعاً لموسم الانبعاثات وموقعها. ويمكن أن تزداد انبعاثات هذه المواد في المستقبل حتى مع انخفاض الانبعاثات من المواد المستنفدة للأوزون المعمرة. ومن الأمثلة الهامة على المواد الكيميائية القصيرة العمر التي تستخدم كمواد وسيطة الكلوروفورم، والميثان الثنائي والإيثان الثلاثي الكلور والإيثان البيركلوري. ومن شأن الزيادات المستمرة في انبعاثات المواد البشرية المنشأ المكلورة ذات العمر القصير جداً، كما شوهد في حالة الميثان الثنائي الكلور على مدى العقدين الماضيين، أن تؤدي إلى مزيد من استنفاد الأوزون الاستراتوسفيري في المستقبل.

32- إن الميثان الثنائي الكلور (عمره 180 يوماً) هو المكون الرئيسي للكلور في المواد ذات العمر القصير جداً. واستمرت الإطلاقات منه في الغلاف الجوي في الزيادة بين عامي 2016 و2020 بمعدل زيادة أقل قليلاً مما كان عليه قبل عام 2016. وتتجم هذه الزيادة في المقام الأول عن ازدياد انبعاثات الميثان الثنائي الكلور في آسيا. وفي ضوء اتجاهات إنتاج المواد الكيميائية في السوق واستخدام الميثان الثنائي الكلور، فمن غير المتوقع حالياً أن

تحدث زيادة كبيرة في الإنتاج العالمي من الميثان الثنائي الكلور وتركيزاته في الغلاف الجوي في العقود القليلة القادمة. ويستخدم الميثان الثنائي الكلور بشكل أساسي كمذيب (كما هو الحال في تصنيع الأدوية، وتجريد الطلاء، والمواد اللاصقة) وكمعامل نفخ رغوي، وكذلك كمادة وسيطة لإنتاج مركب الكربون الهيدروفلوري-32. وفي السنوات الأخيرة، حدث انخفاض في استخدام المذيبات في بعض المناطق (مثل الاتحاد الأوروبي والولايات المتحدة) وزيادة كبيرة في مناطق أخرى (مثل جنوب وشرق آسيا). ويتزايد استخدام الميثان الثنائي الكلور كمادة خام لإنتاج مركب الكربون الهيدروفلوري-32 على مستوى العالم. ومن الصعب التنبؤ بالاتجاهات العالمية المستقبلية. وبالنظر إلى ملف سمية الميثان الثنائي الكلور فإنه يجري إخضاع الاستخدامات العامة لهذا المذيب للتنظيم بشكل متزايد. ومع ذلك، فإن القدرة العالمية على إنتاج الميثان الثنائي الكلور لاستخدامات المذيبات والمواد الأولية تتزايد حالياً.

33- وزادت مدخلات الكلور المقدر من المواد ذات العمر القصير جداً إلى الاستراتيجيات في عام 2020 بنحو 10 جزء من التريليون منذ التقييم الأخير وتبلغ 130 ± 30 جزء من التريليون، مما يساهم بحوالي 4 في المائة من إجمالي مدخلات الكلور. وتساهم المواد المبرومة ذات العمر القصير جداً، من المصادر الطبيعية بصورة رئيسية، بمقدار 2 ± 5 جزء من التريليون في البروم الاستراتيجي ولا تُظهر أي تغيرات طويلة الأجل.

34- وتشير أدلة جديدة إلى أن اليود في المواد ذات العمر القصير جداً، ومعظمه من مصادر طبيعية، يتم نقله إلى الاستراتيجي، مما يساهم بكمية يود قدرها 0,3-0,9 جزء من التريليون في شكل جسيمات أو طور غازي. ولا توجد تقديرات للاتجاهات الرصدية.

حاء - الإنتاج والنواتج الثانوية والاستخدام في شكل مواد أولية والمواد الوسيطة

35- منذ عام 2002، زاد إجمالي إنتاج المواد المستفدة للأوزون المبلغ عنه بمقدار ضئيل، مع زيادة الإنتاج لاستخدامات المواد الأولية التي عوضت الانخفاض في الإنتاج للاستخدامات الانبعاثية الخاضعة للرقابة. وترجع الزيادة الإجمالية في استخدامات المواد المستفدة للأوزون في شكل مواد أولية خلال العقد الماضي في معظمها إلى الزيادة في استخدامات مركبات الكربون الهيدروكلورية فلورية كمواد أولية، خصوصاً مركب الكربون الهيدروكلوري فلوري-22، بينما يؤدي استخدام الأوليفينات الهيدروفلورية إلى زيادة جديدة في استخدام رابع كلوريد الكربون كمادة أولية.

36- وتنتج الانبعاثات أثناء التصنيع الكيميائي عن المنتجات، أو النواتج المشتركة أو النواتج الثانوية أو المواد الأولية أو المواد الوسيطة:

- يتكون الناتج الثانوي للمواد الخاضعة للرقابة في عمليات الإنتاج من خلال الإفراط في التفاعل أو التفاعل الناقص في الطريق إلى المنتج المقصود، ووجود شوائب تخضع لتفاعلات، وتفاعلات جانبية غير مقصودة.
- المواد الوسيطة هي اللبانات الكيميائية التي تمر بها المواد الخام عند تحويلها كيميائياً إلى منتجات. وتكون معدلات الانبعاثات أقل بكثير في حالة المواد الوسيطة مقارنةً بالمنتج النهائي.

37- وتولّد عدة عمليات إنتاج نواتج ثانوية وانبعاثات لمركب الكربون الهيدروفلوري-23، بما في ذلك أثناء إنتاج مركب الكربون الهيدروكلوري فلوري-22 ومركب الكربون الهيدروفلوري-32. ويمكن أن تؤدي عمليات إنتاج مركبات الكربون الفلورية الأخرى أيضاً إلى تكون نواتج ثانوية لمركب الكربون الهيدروفلوري-23، وإن كان ذلك بمعدلات أقل (انظر أيضاً الفرع ثالثاً أعلاه).

38- ويستخدم مركب الكربون الهيدروفلوري-22 بشكل أساسي كمادة وسيطة لإنتاج رابع فلوريد الإيثيلين وسادس فلوريد البروبيلين، وكلاهما يستخدم في إنتاج البولييمرات الفلورية. وينتج عن تصنيع رابع فلوريد الإيثيلين/سادس فلوريد البروبيلين من مركب الكربون الهيدروكلوري فلوري-22 المستخدم كمادة أولية نواتج ثانوية وانبعاثات لمركب الكربون الهيدروفلوري-23 والبيوتان الحلقي البيروفلوري PFC-c-318، وكلاهما يتميز بقدرة احتراق عالمي

عالية جداً. هذه الانبعاثات مجتمعة، مثل مكافئ ثاني أكسيد الكربون، دون النظر إلى إمكانية تخفيضها، أكبر من الانبعاثات المقدره لمركب الكربون الهيدروفلوري -23 المتكون من إنتاج مركب الكربون الهيدروكلوري فلوري-22. 39- والانبعاثات الحالية مجتمعة المرجحة بالقدرة على إحداث الاحترار العالمي لمركبات الكربون الكلورية فلورية بالإضافة إلى مركبات الكربون الهيدروكلورية فلورية مماثلة لانبعاثات مركبات الكربون الهيدروفلورية. وستتطلب التخفيضات في الانبعاثات المستقبلية من مركبات الكربون الكلورية فلورية ومركبات الكربون الهيدروكلورية فلورية معالجة الانبعاثات من المصارف ومن الإنتاج والإنتاج العرضي واستخدامات المواد الأولية. إن الانبعاثات العالمية من مركب الكربون الهيدروكلوري فلوري-23 الطويل العمر، وهي إلى حد كبير ناتج ثانوي من إنتاج مركب الكربون الهيدروكلوري فلوري-22، من المرجح أن تنمو ما لم يزداد التخفيف أو ينخفض استخدام مركب الكربون الهيدروكلوري فلوري-22 كمادة وسيطة.

أولاً- في حين أن الإطلاقات الجوية من الهالونات تتراجع ببطء، فإن الطلب على الهالون -1301 لا يزال قائماً، وقد لا يمكن تلبيةه في المستقبل دون إنتاج جديد

40- انخفض البروم التروبوسفيري من الهالونات من ذروة بلغت $8,5 \pm 0,1$ جزء من التريليون في عام 2006 إلى $7,3 \pm 0,1$ جزء من التريليون في عام 2020. استمرت الإطلاقات الجوية من الهالون-1211 والهالون-2402 والهالون-1202 في الانخفاض بين عامي 2016 و2020. وظل معدل تغير الهالون 1301 لا يمكن تمييزه عن الصفر. وفي عام 2020، كان الهالون 1301 هو الهالون الأكثر وفرة في الغلاف الجوي.

41- ويبدو أن انبعاثات الهالون-1301 أعلى مما كان متوقعا من مصرف ثابت لاستخدامات إخماد الحرائق، مما يشير إلى مصادر أخرى للانبعاثات، مثلاً من إنتاج المواد الأولية واستخدامها. وعلى العكس من ذلك، يمكن أن يعزى ارتفاع الانبعاثات إلى معدل انبعاثات أعلى من المتوقع من مصرف الهالون-1301. وإذا كان الأمر كذلك، فإن مصرف الهالون-1301 يمكن أن يكون أقل بكثير من المصرف المطلوب لتلبية الاحتياجات المستمرة.

42- ولا يزال الطلب على الهالونات لاستخدامات إطفاء الحرائق قائماً، وسوف يتجاوز في نهاية المطاف الإمدادات من المصارف المتاحة في حالة عدم استخدام بدائل. وهناك استخدامات مستمرة طويلة الأجل للهالونات (على سبيل المثال، في منشآت النفط والغاز والمنشآت النووية والعسكرية) وطلب متزايد من الطيران المدني على الهالون-1301 بسبب عدم وجود بدائل لتطبيقات مكافحة الحرائق في غرف المحركات وعناصر الشحن في الطائرات الجديدة. إن الإطار الزمني المقدر الحالي لتوقف الاستخدام بين عامي 2030 و2049، عندما لا يكون الهالون 1301 متاحاً، يعني أن صناعة الطيران المدني (وغيرها) يجب أن تنظر إلى مخزونات الخاصة من الهالون 1301 لتجنب إيقاف الطائرات بسبب نقص الحماية المناسبة من الحرائق. وقد تكون التصميمات الجديدة في القطاع العسكري قادرة فقط على استخدام الهالون 1301 أو مركبات الكربون الهيدروفلورية ذات القدرة العالية على إحداث الاحترار العالمي لتلبية متطلبات التصميم/السلامة الصارمة.

43- إن لوائح التخفيض التدريجي لمركبات الكربون الهيدروفلورية في الأطراف غير العاملة بموجب المادة 5 لها تأثير أكبر على تكلفة وتوافر مثبطات الحرائق العاملة بمركبات الكربون الهيدروفلورية مما كان متوقعا في البداية بسبب ارتفاع قدرتها على إحداث الاحترار العالمي وتوافر كيتونات فلورية منخفضة قدرة الاحترار العالمي مناسبة لبعض التطبيقات. ومع انخفاض المعروض من مركبات الكربون الهيدروفلورية المنتجة حديثاً للحماية من الحرائق استجابة لوائح التخفيض التدريجي، ستصبح إعادة تدوير مركبات الكربون الهيدروفلورية أكثر أهمية لتلبية الطلب.

باء - إن التحديد الكمي لمصارف المواد المستنفدة للأوزون ومركبات الكربون الهيدروفلورية والمسار الزمني لانبعاثاتها المستمرة أمر مهم في تحديد وتيرة استعادة طبقة الأوزون والتأثير المحتمل على المناخ

44- يعد رصد مصارف المواد الخاضعة للرقابة وتقييم تراكمها في المعدات والمنتجات أمراً مهماً بسبب التأثير المحتمل لانبعاثاتها غير الخاضعة للرقابة على استنفاد الأوزون والمناخ. ويعرف المصرف بأنه الكمية الإجمالية

للمواد الخاضعة للرقابة الموجودة في المعدات والمخزونات والرغاوى وغيرها من المنتجات وبالتالي لم تطلق بعد في الغلاف الجوي. ويشمل ذلك المصرف "الذي يمكن الوصول إليه"، الذي يشار إليه أيضاً باسم المصرف "النشط"، والذي يشمل المواد الخاضعة للرقابة الموجودة في معدة من المعدات أو منتج من المنتجات المستخدمة، ومن ثم يمكن الوصول إليها أو الحصول عليها من أجل إدارتها عندما تدخل مسار النفايات في نهاية عمرها. في المقابل، يشير البنك "غير القابل للوصول" أو "غير النشط" إلى المواد التي تم طمرها أو رميها بشكل غير قانوني مع المعدات أو المنتج.

45- وتهدف الإدارة الفعالة للمصارف النشطة للمواد المستفدة للأوزون ومركبات الكربون الهيدروفلورية إلى التقليل إلى أدنى حد ممكن من الآثار العالمية المرتبطة بإطلاق المواد المستفدة للأوزون ومركبات الكربون الهيدروفلورية عن طريق التقليل إلى أدنى حد من الانبعاثات ودعم التخفيض التدريجي لمركبات الكربون الهيدروفلورية من خلال استعادة مركبات الكربون الهيدروفلورية لإعادة تدويرها واستخلاصها وإعادة استخدامها. ويشجع بروتوكول مونتريال على التدمير السليم بيئياً للمواد المستفدة للأوزون ومركبات الكربون الهيدروفلورية الفائضة أو الملوثة في نهاية عمرها لأنه يؤدي إلى تجنب الانبعاثات غير الضرورية ويحمي طبقة الأوزون الاستراتوسفييري و/أو المناخ. وتتمو مصارف المواد المستفدة للأوزون ومركبات الكربون الهيدروفلورية في الأطراف العاملة بموجب المادة 5، ولا سيما في قطاعات التبريد وتكييف الهواء والرغاوى بسرعة، وستهيمن على أحجام المصارف العالمية بحلول أوائل عام 2030، نتيجة لانخفاض المصارف في الأطراف غير العاملة بموجب المادة 5 والاستيعاب السريع للمعدات المحتوية على مركبات الكربون الهيدروفلورية لدى الأطراف العاملة بموجب المادة 5. أما فيما يخص قطاعات التبريد وتكييف الهواء والرغاوى فإن المصرف النشط يحتوي في عام 2022 على ما مجموعه 6 000 كيلوطن من المواد المستفدة للأوزون ومركبات الكربون الهيدروفلورية، أي ما يعادل 16 غيغا طن من مكافئ ثاني أكسيد الكربون.

كاف- تركيزات بروميد الميثيل في الغلاف الجوي لم تنخفض منذ عام 2016

46- تراوح متوسط الإطلاقات العالمية من بروميد الميثيل في الغلاف الجوي سنوياً بين 6,5 جزء من التريليون و9,6 جزء من التريليون خلال الفترة 2016-2020، مع عدم وجود اتجاه عام واضح. وتزيد الإطلاقات الجوية في نصف الكرة الشمالي بنحو 0,8 جزء من التريليون عنها في نصف الكرة الجنوبي. وتقيد التقارير بأن التخلص التدريجي من الاستخدامات الخاضعة للرقابة وغير المعفاة (أي غير المشمولة بالحجر الصحي وتطبيقات ما قبل الشحن) لبروميد الميثيل قد اكتمل تقريباً. وذكرت الأطراف أنه جرى التخلص التدريجي من أكثر من 99,8 في المائة من الاستهلاك الأساسي البالغ 428 66 طناً لهذا النوع من الاستخدامات الخاضعة للرقابة بحلول 1 كانون الثاني/يناير 2023. وهذا يعني أن بروميد الميثيل يستخدم حالياً بشكل حصري تقريباً في الحجر الصحي وتطبيقات ما قبل الشحن، مع بقاء الاستهلاك مستقرًا بوجه عام عند 10 000 طن سنوياً ويتركز في حوالي 17 بلداً مستهلكاً.

47- وتتوافر بدائل مجدية اقتصادياً وتقنياً للاستخدامات في الحجر ومعالجات ما قبل الشحن ويمكن أن تحل محل حوالي 40 في المائة من الاستخدامات الحالية. ويمكن أن تؤدي إعادة احتجاز و/أو إعادة تدوير بروميد الميثيل إلى تجنب حوالي 70 في المائة من انبعاثات بروميد الميثيل الناشئة عن استخدامات الحجر الصحي ومعالجات ما قبل الشحن؛ ومع ذلك، فإن هذه التكنولوجيا مكلفة وليس هناك حافز كبير لاعتمادها. ويعتبر تخفيض الانبعاثات لجميع الاستخدامات المتبقية من بروميد الميثيل في الحجر الصحي ومعالجات ما قبل الشحن، إلى جانب تحديد ووقف أي استخدامات غير مبلغ عنها، عوامل هامة لإعادة التركيزات في الغلاف الجوي إلى المستويات الطبيعية. ونظراً لقصر العمر الافتراضي نسبياً لبروميد الميثيل في الغلاف الجوي (7,0 سنة)، فإن اعتماد أي بدائل مناسبة وفي بعض الحالات اعتماد إعادة الاحتجاز/التدمير سيكون له فائدة فورية في خفض تركيزه في الغلاف الجوي.

لام- يعتمد توقيت ومدى تعافي الأوزون الاستراتوسفيري على تركيزات كل من المواد المستنفدة للأوزون وغازات الاحتباس الحراري في المستقبل

48- تبين عمليات المحاكاة النموذجية أن الانتعاش المستقبلي لطبقة الأوزون خارج المناطق القطبية سيحكمه في الغالب غازات الاحتباس الحراري، على افتراض استمرار النقيذ بيروتوكول مونتريال. إن النطاق الواسع للمستويات المستقبلية المحتملة من ثاني أكسيد الكربون والميثان وأكسيد النيتروز هو قيد مهم على صعيد تقديم توقعات مستقبلية دقيقة للأوزون على مستوى العالم، وكذلك لثقب الأوزون والمناطق الجغرافية الأخرى. ويعود عمود الأوزون الكلي إلى قيم عام 1980 في وقت أقرب في حالة السيناريوهات التي تفترض انبعاثات أكبر من غازات الاحتباس الحراري (قصر مناخي أعلى) مقارنةً بالسيناريوهات التي تتطوي على انبعاثات أقل من غازات الاحتباس الحراري (قصر مناخي أقل).

49- وفيما يخص الخطوط من 60 درجة جنوباً - 60 درجة شمالاً، تظهر عمليات المحاكاة أن الأوزون الكلي يعود إلى مستوى عام 1980 بسرعة أكبر في ظل سيناريو قصر مناخي أعلى لأن الزيادات المستقبلية الكبيرة في كل من ثاني أكسيد الكربون والميثان تميل إلى زيادة الأوزون. وفي ظل سيناريو القصر المناخي المنخفض، تتوقع النماذج أن الأوزون فوق 60 درجة جنوباً - 60 درجة شمالاً قد لا يصل إلى مستوى عام 1980 بحلول نهاية هذا القرن. وفي هذه المحاكاة التي تتطوي على قصر مناخي منخفض فإن الانخفاضات المستقبلية في الأوزون الكلي مدفوعة بارتفاع أكسيد النيتروز تفوق الزيادات المستقبلية الصغيرة في الأوزون الناجمة عن ثاني أكسيد الكربون والميثان. أما فيما يخص سيناريو القصر المناخي المتوسط فإن من المتوقع أن يعود الأوزون الكلي فوق الخطوط من 60 درجة جنوباً - 60 درجة شمالاً إلى مستوى عام 1980 بحلول عام 2040 تقريباً.

50- إضافةً إلى التغيرات في تركيزات المواد المستنفدة للأوزون وغازات الاحتباس الحراري، تعتمد توقعات مستويات الأوزون في المستقبل أيضاً على عوامل أخرى تؤثر على كيمياء الغلاف الجوي وتكوينه:

- يمكن أن تتسبب أساطيل الطائرات التجارية الأسرع من الصوت أو التي تفوق سرعة الصوت في المستقبل في استنفاد الأوزون الاستراتوسفيري من خلال انبعاثاتها التي تتمثل في كميات كبيرة من بخار الماء وأكاسيد النيتروجين في الاستراتوسفير؛
- وعمليات إطلاق الصواريخ في الوقت الحاضر تأثير ضئيل على الأوزون الكلي الاستراتوسفيري (أقل بكثير من 0,1 في المائة). غير أن منظومات الصواريخ التي تستخدم مواد دافعة جديدة (مثل الهيدروجين والميثان) وزيادة تواتر الإطلاق يمكن أن يكون لها تأثير كبير في المستقبل. إضافةً إلى ذلك فإن فقدان الأجهزة الفضائية عند عودتها عبر الغلاف الجوي قد تكون له آثار على كيمياء وتكوين الاستراتوسفير من شأنها أن تؤدي إلى تأثيرات على الأوزون؛
- ومن شأن التغيرات في الهباء الجوي الاستراتوسفيري وبخار الماء الناجمة عن ثوران البراكين المتفجرة أن تؤدي إلى زيادة استنفاد الأوزون والتغيرات في الدوران الاستراتوسفيري. وسيصبح الأوزون أقل حساسية للحقن البركاني مع انخفاض تركيزات المواد المستنفدة للأوزون في العقود القادمة؛
- وتجري دراسة الحقن المتعمد للهباء الجوي الكبريتي في طبقة الاستراتوسفير كخيار ممكن للحد من الاحترار المناخي وما يرتبط به من آثار. وتبين عمليات المحاكاة النموذجية أن عمليات الحقن لديها القدرة على إحداث تغيرات في الأوزون من العمليات الكيميائية والديناميكية، حيث يعتمد حجم وعلامة هذه التغيرات بشدة على سيناريو الحقن وحالة تغير المناخ من الأنشطة البشرية.

ميم- هناك ارتباط بين استنفاد الأوزون الاستراتوسفيري وتغير المناخ

51- كما ورد في التقييمات السابقة، فإن المواد المستنفدة للأوزون هي غازات احتباس حراري قوية تؤدي إلى احترار السطح. والأوزون نفسه هو أيضا غاز احتباس حراري وتغيراته تؤثر على المناخ. وتميل الزيادات في ثاني أكسيد الكربون والانخفاضات في الأوزون على حد سواء إلى تبريد الاستراتوسفير (في حين أن الزيادات المستقبلية في الأوزون تميل إلى الاحترار)؛ ويؤدي تبريد الاستراتوسفير بعيدا عن المناطق القطبية إلى إبطاء معدل تدمير الأوزون، مما يؤدي إلى ارتفاع تركيزات الأوزون في الاستراتوسفير.

52- إن المعدل المقدر للتبريد الطويل الأجل في الاستراتوسفير الأوسط والأعلى العالمي (0,6 كيلفن في عقد من الزمن) بناء على الملاحظات مشابهة للمعدل في التقييمات السابقة. والاتجاهات الطويلة الأجل مدفوعة في المقام الأول بزيادة ثاني أكسيد الكربون والأوزون الاستراتوسفيري. وفي المستقبل، سيكون لزيادة غازات الاحتباس الحراري وآثار استعادة الأوزون آثار متعارضة على درجة حرارة الاستراتوسفير ودورانه.

53- وتشير أدلة جديدة إلى أن استعادة الأوزون قد تسببت في تغيرات في الاتجاهات الملحوظة لدوران الغلاف الجوي في نصف الكرة الجنوبي بين فترتي استنفاد الأوزون وتعافيه. وتدعم نماذج المحاكاة عزو هذه التغييرات إلى استعادة الأوزون. وتوفر هذه النتائج دليلا على أن اتجاهات دوران نصف الكرة الجنوبي قد استجابت لتعافي الأوزون في أنتاركتيكا بسبب بروتوكول مونتريال.

54- وعلى الرغم من عدم وجود آثار سطحية يمكن اكتشافها لتغيرات الأوزون في القطب الشمالي على المدى الطويل، فإن البيانات الجديدة تبين أنه في السنوات الفردية فإن الأوزون المنخفض في القطب الشمالي في فصل الربيع يمكن أن يضخم حالات الشذوذ الحالية في دوران الاستراتوسفير وتأثيرها على دوران التروبوسفير والمناخ السطحي.

55- وتؤكد أدلة جديدة أنه من غير المرجح أن يكون استنفاد الأوزون قد أدى إلى تبريد درجة حرارة سطح البحر في خطوط العرض العالية المرصودة والتغيرات في الجليد البحري في أنتاركتيكا منذ عام 1979.

نون- الامتثال لأحكام بروتوكول مونتريال يضمن حماية الأوزون الاستراتوسفيري والمناخ

56- يسهم الامتثال الكامل لأحكام بروتوكول مونتريال في استعادة الأوزون وحماية المناخ (على النحو المشار إليه أعلاه):

- يعود عمود الأوزن الكلي إلى قيم عام 1980 بحلول عام 2066 تقريبا في أنتاركتيكا، وبحلول عام 2045 تقريبا في القطب الشمالي وبحلول عام 2040 تقريبا للمتوسط شبه العالمي؛
- وفي عام 2020، أدى بروتوكول مونتريال إلى تجنب $0,17 \pm 0,06$ درجة مئوية من الاحترار السطحي العالمي و $0,45 \pm 0,23$ درجة مئوية من الاحترار السطحي في القطب الشمالي. وتبين التوقعات أنه بحلول منتصف القرن من المرجح أن يؤدي البروتوكول إلى تجنب $0,79 \pm 0,24$ درجة مئوية من الاحترار مقارنة بسيناريو انبعاثات المواد المستنفدة للأوزون غير الخاضعة للرقابة؛
- وسيكون تعديل كيغالي قد أدى إلى تجنب $0,3-0,5$ درجة مئوية من الاحترار بحلول عام 2100.

57- وأدى التعاون الناجح للخبراء عبر لجان التقييم المعنية بالعلوم والتكنولوجيا إلى تنسيق البحوث والتحليلات لتقديم إجابات حول مصادر الانبعاثات غير المتوقعة من مركب الكربون الكلوري فلوري-II التي حدثت من عام 2013 إلى عام 2017. وقد أبرزت هذه المسألة الحاجة إلى اليقظة للحفاظ على الامتثال، وضمان استعادة طبقة الأوزون وزيادة سرعة التعافي إلى أقصى حد.

58- وتشمل الخيارات الإضافية للعمل من أجل التعجيل بتعافي طبقة الأوزون وحماية المناخ التخلص من المواد المستنفدة للأوزون المتبقية وانبعاثاتها، مثل الانبعاثات من استخدامات المواد الوسيطة، وانبعاثات النواتج

الثانوية، وانبعثات بروميد الميثيل من تطبيقات الحجر الصحي ومعالجات ما قبل الشحن، وانبعثات المواد ذات العمر القصير جداً، والانبعثات من مصارف المواد الخاضعة للرقابة. ومن شأن ذلك أن يؤدي بشكل فردي إلى فوائد صغيرة إلى متواضعة فيما يخص الأوزون؛ ويمكن لهذه البلدان مجتمعة أن تعزز تعافي الأوزون في غضون مدة أقصاها 16 عاما.

سين - الاعتبارات العلمية والتقنية والاعتبارات المتعلقة بالسياسات البيئية

59- من شأن القضاء على انبعثات المواد المستفدة للأوزون المستخدمة كمواد أولية على النحو المقدر حالياً في السنوات المقبلة أن يؤدي إلى عودة الكلور الاستراتوسفيري الفعال المكافئ في خطوط العرض الوسطى إلى مستويات الإطلاقات الجوية في عام 1980 قبل الموعد المحدد بأربع سنوات، ويرجع ذلك إلى حد كبير إلى التخفيضات في رابع كلوريد الكربون، مع التقليل في الوقت نفسه من القسر المناخي الكلي الناجم عن المواد المستفدة للأوزون. ومن المهم تحسين فهم ورصد انبعثات المواد الخاضعة للرقابة من الإنتاج والإنتاج العرضي واستخدام المواد الأولية نظراً لمساهمتها في الانبعثات العالمية الكلية.

60- وفي عام 2021، كان كل إنتاج بروميد الميثيل المبلغ عنه تقريباً لأغراض الحجر الصحي ومعالجات ما قبل الشحن، وهو ليس استخداماً خاضعاً للرقابة بموجب بروتوكول مونتريال. وتتوافر بدائل لبروميد الميثيل، وكذلك تكنولوجيا إعادة الاحتجاز التي من شأنها أن تؤدي إلى خفض الانبعثات. ومن شأن القضاء على الانبعثات المستقبلية من بروميد الميثيل من تطبيقات الحجر الصحي ومعالجات ما قبل الشحن التي يسمح بها حالياً بروتوكول مونتريال أن يعجل بعودة الكلور الاستراتوسفيري الفعال المكافئ في خطوط العرض الوسطى إلى وفتها في عام 1980 بمدة سنتين (كما لوحظ في التقييمات السابقة).

61- وتستمر انبعثات المواد الكلورية البشرية المنشأ القصيرة العمر للغاية، التي يهيمن عليها الميثان الثنائي الكلور، في النمو والمساهمة في استنفاد الأوزون. وإذا استمرت انبعثات الميثان الثنائي الكلور عند مستوياتها الحالية، فإنها ستستنفد ما يقرب من 1 وحدة دوبسون من المتوسط العالمي السنوي لعمود الأوزون الكلي. ومن شأن القضاء على هذه الانبعثات أن يعكس اتجاه هذا الاستنفاد بسرعة.

62- وتشكل انبعثات أكسيد النيتروز البشرية المنشأ الآن أكبر انبعثات المواد المستفدة للأوزون غير الخاضعة للرقابة، حيث تم التخلص التدريجي من مصادر الانبعثات الأخرى الأكبر حجماً (مركب الكربون الكلوري فلوري - 11 ومركب الكربون الكلوري فلوري - 12 ومركب الكربون الكلوري فلوري - 113). وسيؤدي الانخفاض في انبعثات أكسيد النيتروز البشرية المنشأ بنسبة 3 في المائة، في المتوسط خلال الفترة 2023-2070 إلى زيادة في المتوسط العالمي السنوي لعمود الأوزون الكلي بحوالي 0,5 وحدة دوبسون خلال نفس الفترة، وانخفاض بحوالي 0,04 واط/م² في القسر الإشعاعي، في المتوسط خلال الفترة 2023-2100.

63- ومع زيادة مصارف المواد المستفدة للأوزون ومركبات الكربون الهيدروفلورية في البلدان العاملة بموجب المادة 5، ولا سيما في قطاعات التبريد وتكييف الهواء والرغاوي يتوقع أن تزداد في تلك البلدان الكميات التي يحتمل أن تكون متاحة للاستعادة والإدارة. ويهيمن قطاع التبريد وتكييف الهواء والمضخات الحرارية على استهلاك مركبات الكربون الهيدروفلورية ويقدر أنه مسؤول عن زهاء 95 في المائة من الاستهلاك في البلدان العاملة بموجب المادة 5 و80 في المائة على الصعيد العالمي. ويمكن أن يكون للجهود المبذولة في الوقت المناسب لإنشاء وتمويل القدرة على إدارة نهاية العمر الافتراضي لمنع انبعثات مركبات الكربون الهيدروفلورية أثر كبير، بالنظر إلى الحجم والنمو المتوقعين لمصارف مركبات الكربون الهيدروفلورية في البلدان الأكبر حجماً العاملة بموجب المادة 5. وسيكون التصدي للحوادث التي تعترض نقل المواد المستفدة للأوزون ومركبات الكربون الهيدروفلورية في نهاية عمرها عبر الحدود أمراً مهماً في دعم الاستعادة/إعادة التدوير التفضيلية والتدمير السليم بيئياً للمواد المستفدة للأوزون ومركبات الكربون الهيدروفلورية في نهاية عمرها، وبالتالي تقليل انبعثاتها إلى أدنى حد ممكن.

64- وبموجب تعديل كيغالي، تحرز الأطراف تقدماً على صعيد اللوائح الوطنية للتخلص التدريجي من مركبات الكربون الهيدروفلورية، مما يحفز طلب السوق على بدائل ذات قدرة احتراق عالمي أقل ومعدات أعلى كفاءة. ومع ذلك، فإن مجموعة المنتجات الجديدة ذات قدرة الاحتراق العالمي المنخفضة تخلق تحديات في العثور على أفضل حل لكل تطبيق، بالنظر إلى عوامل مثل القابلية للاشتعال والسمية والتوافر والتكلفة وسهولة الوصول والمعدات وظروف تشغيل النظام:

- تتوفر المبردات البديلة ذات القدرة المنخفضة للغاية و/أو المنخفضة و/أو المتوسطة على إحداث الاحتراق العالمي لجميع تطبيقات التبريد وتكييف الهواء والمضخات الحرارية وتُطبق على نطاق واسع في بعض تطبيقات التبريد وتكييف الهواء والمضخات الحرارية والمناطق. ولا تزال إمكانية الوصول تشكل عائقاً رئيسياً أمام عملية الاعتماد على نطاق واسع؛
- وتحتوي معظم المبردات ذات القدرة المنخفضة للغاية و/أو المنخفضة و/أو المتوسطة على إحداث الاحتراق العالمي على فئات مختلفة من القابلية للاشتعال (قابلية أقل للاشتعال وقابلية للاشتعال وقابلية أعلى للاشتعال). ويواصل قطاع التبريد وتكييف الهواء والمضخات الحرارية تحديث معايير السلامة ذات الصلة للسماح باستخدامها (على سبيل المثال، زيادة حدود شحن المبردات القابلة للاشتعال المسموح بها للتبريد التجاري القائم بذاته، وتكييف الهواء إلى الهواء وتطبيقات المضخات الحرارية للتدفئة فقط)؛
- ويمكن أن تساهم معالجة المصارف النشطة التي تحتوي على معدات تبريد وتكييف هواء غير موفرة للطاقة وذات قدرة عالية على إحداث الاحتراق العالمي في تقليل الطلب على الطاقة وخدمات الصيانة اللاحقة للمبردات العالية القدرة على إحداث الاحتراق العالمي غير المرغوب فيها؛
- وقد خف النقص في إمدادات البدائل المنخفضة القدرة على إحداث الاحتراق العالمي في بعض القطاعات نظراً للطاقة الإنتاجية الجديدة لبدائل الأوليفينات الهيدروفلورية والهيدروكلورية فلورية، ولكن النقص آخر الانتقال بعيداً عن مركبات الكربون الهيدروفلورية عبر مختلف قطاعات الاستخدام. وسيتعين رصد كفاية العرض في المستقبل لتلبية الطلب المتزايد بسبب التخفيض التدريجي لمركبات الكربون الهيدروفلورية لتجنب حدوث اضطرابات في المستقبل؛
- وفي معظم الأطراف العاملة بموجب المادة 5، ولكن بصفة خاصة في البلدان ذات الاستهلاك المنخفض والمنخفض جداً، تستخدم غالبية المواد المستنفدة للأوزون ومبردات مركبات الكربون الهيدروفلورية في أغراض الصيانة، ومن ثم فإن ضمان الدعم للتدريب والصيانة المناسبين من شأنه أن يقلل من الانبعاثات المباشرة للمواد المستنفدة للأوزون ومبردات مركبات الكربون الهيدروفلورية ويقلل من فقدان كفاءة استخدام الطاقة في معدات التبريد وتكييف الهواء والمضخات الحرارية على مدى عمر المعدات؛
- وفي تطبيقات رغاوي محددة، لا تزال هناك بعض التحديات، لا سيما بالنسبة للمشاريع الصغيرة في بعض البلدان العاملة بموجب المادة 5 بسبب توافر وسلامة وتكلفة بعض البدائل ذات قدرة الاحتراق العالمي المنخفضة، فضلاً عن متطلبات أداء المنتج؛
- وفي حين أن الاستهلاك العالمي من مركبات الكربون الهيدروفلورية لتصنيع الإلكترونيات وإنتاج المغنيسيوم صغير نسبياً، فإنه يتزايد بالنسبة لتصنيع الإلكترونيات، وتشمل بدائل مركبات الكربون الهيدروفلورية حالياً غازات مفلورة أخرى، كثير منها له قدرة عالية على إحداث الاحتراق العالمي؛

- ويُعد الانتقال بعيداً عن أجهزة الاستنشاق بالجرعات المقننة المضغوطة التي تحتوي على مركبات الكربون الهيدروفلورية ذات القدرة العالية على إحداث الاحترار العالمي مهمة كبيرة تنطوي على مخاطر صحية عامة محتملة ما لم تُدار بعناية.

65- وتوفر شبكات محطات رصد الغلاف الجوي عمليات رصد للتركيزات السطحية العالمية للمواد المستنفدة للأوزون ومركبات الكربون الهيدروفلورية المعمرة الناتجة عن الانبعاثات البشرية المنشأ. غير أن الثغرات في الرصد الإقليمي للغلاف الجوي تحد من قدرة المجتمع العلمي على تحديد انبعاثات المواد الخاضعة للرقابة من العديد من مناطق المصدر وقياسها كميًا.

66- ومن المقرر سحب العديد من الأجهزة المحمولة في الفضاء التي توفر قياسات عالمية باستبانة رأسية لمكونات الغلاف الجوي المتصلة بالأوزون (مثل الكلور التفاعلي، وبخار الماء، ومواد تتبع الانتقال الطويلة العمر) في غضون بضع سنوات. وبدون استبدال هذه الأدوات، ستفوض القدرة على رصد وتفسير التغيرات في طبقة الأوزون الاستراتوسفيرية في المستقبل.

67- وقد قُيِّم تأثير حقن الهباء الجوي الاستراتوسفيري على طبقة الأوزون، والذي اقترح كخيار محتمل لتعويض الاحترار العالمي، استناداً لاختصاصات تقرير تقييم لجنة التقييم العلمي لعام 2022. وُحددت العواقب المحتملة المهمة، مثل تعميق فجوة الأوزون في القطب الجنوبي وتأخر استعادة الأوزون. وتحول العديد من الفجوات المعرفية والشكوك دون إجراء تقييم أكثر قوة في هذا الوقت.

68- وتشمل الشواغل المتزايدة بشأن طبقة الأوزون في القرن الحادي والعشرين تأثير ما يلي:

- زيادات أخرى في تركيزات أكسيد النيتروز والميثان وثنائي أكسيد الكربون؛
- التوسع السريع في استخدام المواد المستنفدة للأوزون واستخدامات المواد الأولية لمركبات الكربون الهيدروفلورية وانبعاثاتها؛
- استمرار، بل وزيادة استخدام بروميد الميثيل في الحجر الصحي ومعالجات ما قبل الشحن؛
- تغير المناخ على عمود الأوزون الكلي في المناطق المدارية؛
- حرائق الغابات والانفجارات البركانية غير العادية؛
- زيادة وتيرة إطلاق الصواريخ المدنية وانبعاثات أسطول جديد مقترح من الطائرات التجارية الأسرع من الصوت.

69- وفي حين أن المعرفة بآثار الأشعة فوق البنفسجية آخذة في التحسن، لا تزال هناك تحديات كثيرة في إجراء تقييم كاف للآثار التفاعلية للتغيرات المستقبلية في الأشعة فوق البنفسجية الشمسية السطحية والمناخ على صحة الإنسان والأمن الغذائي وصحة النظم الإيكولوجية والتنوع البيولوجي. وتعزى هذه التحديات جزئياً إلى عدم التيقن من الكيفية التي ستغير بها آثار التغير التدريجي للمناخ والظواهر المناخية الدورية المتطرفة الإشعاع فوق البنفسجي على سطح الأرض وتؤثر بالتالي على تكيف الأنواع وهيكل النظام الإيكولوجي ووظيفته في بيئة سريعة التطور. ومن ثم فإن هناك حاجة واضحة إلى إدراج الأشعة فوق البنفسجية الشمسية مع عوامل تغير المناخ الأخرى في الدراسات التجريبية ودراسات النمذجة لصحة الإنسان والنظم الإيكولوجية المائية والبرية للتمكين من إجراء تقييم أقوى للآثار البيئية للتغيرات في الأشعة فوق البنفسجية في ظل سيناريوهات مناخية عالمية مختلفة في المستقبل.