

A redução do Carbono Negro pode ser a Estratégia Mais Rápida para Diminuir a Velocidade da Mudança Climática

Nota Informativa do Clima: 29 de agosto de 2008*

O Carbono Negro é um Potente Agente de Forçamento Climático e um Alvo Chave para a Mitigação Climática

A redução do carbono negro (CN) pode ser a grande esperança para a mitigação climática imediata. O CN é um potente agente de forçamento climático, considerado a segunda maior causa do aquecimento global, depois do dióxido de carbono (CO₂). Como o CN permanece na atmosfera apenas algumas semanas, a redução das emissões de CN pode ser o meio mais rápido de desacelerar a mudança climática em curto prazo.¹

Lidar com o CN agora pode postergar a possibilidade de ultrapassar os limites, ou os pontos máximos, para mudanças climáticas abruptas e irreversíveis,² que poderiam acontecer daqui a dez anos e têm impactos potencialmente catastróficos.³ Também pode poupar o precioso tempo dos elaboradores de política para que tratem das emissões de CO₂ em médio e longo prazo.

As estimativas do forçamento climático do CN (que combina forçamentos diretos e indiretos) difere da estimativa do IPCC de + 0.3 watts por metro quadrado (W/m²) ± 0.25,⁴ à mais recente estimativa de .9 W/m² (veja a Tabela 1), que é “equivalente a 55% do forçamento de CO₂ e é maior do que o forçamento resultante de outros gases de efeito estufa (GEEs) como o CH₄, CFCs, N₂O, ou o ozônio troposférico.”⁵

Em algumas regiões, como o Himalaia, o impacto do CN no derretimento da calota polar e das geleiras pode ser o mesmo que o do CO₂.⁶ As emissões de CN também contribuem significativamente com o derretimento gelo Ártico, que é crítico, porque “não há nada no clima mais corretamente descrito como ‘ponto máximo’ do que a fronteira de 0° C que separa o gelo da água – a neve e o gelo brilhosos e refletivos do oceano escuro, absorvente de calor”⁷. Para tanto, a redução dessas emissões pode ser “a forma mais eficiente que conhecemos para mitigar o aquecimento do Ártico”⁸.

Desde 1950, muitos países já reduziram significativamente as emissões de CN, particularmente resultante de fontes de combustível fóssil, principalmente para melhorar a saúde pública. Além disso, há “tecnologia para uma redução drástica do combustível fóssil relacionado ao CN” em todo o mundo.⁹ Assegurar o cumprimento e a aplicação das leis nacionais existentes que lidem com as emissões de carbono negro pode dar algum alívio, mas são necessárias novas leis e regulamentos, assim como parcerias voluntárias em todos os níveis para reduções futuras e mais rápidas, especialmente porque as emissões em nível global estão aumentando.¹⁰

A Redução do Carbono Negro pode ser a Forma mais Rápida de Desacelerar o Aquecimento Global

No relatório de 2007, o IPCC estimou, pela primeira vez, o forçamento radioativo direto do carbono negro resultante de emissões de combustível fóssil em + 0.2 W/m², e o forçamento radioativo do carbono negro por meio de seu efeito sobre a superfície albedo de neve e gelo em mais + 0.1 W/m².¹¹ Outros estudos e o testemunho público de muitos dos cientistas mencionados no relatório do IPCC, estimam que as emissões de carbono negro são a segunda maior causa de aquecimento global, depois

das emissões de dióxido de carbono. Além disso, concluem que a redução dessas emissões pode ser a estratégia mais rápida para desacelerar a mudança climática.¹²

O carbono negro é o componente absorvente mais forte dos aerossóis carbonáceos que dá ao à fuligem a cor negra.¹³ O CN é formado pela combustão incompleta de combustíveis fósseis, biocombustíveis e biomassa, sendo emitido tanto de forma antropogênica quanto natural, com a ocorrência de fuligem. O CN aquece o planeta ao absorver a radiação solar e liberá-la na atmosfera, e ao reduzir o albedo, a habilidade de refletir a luz solar quando depositada na neve e no gelo. O CN continua na atmosfera por vários dias, ou semanas, enquanto o CO₂ tem uma vida atmosférica de mais de 100 anos.¹⁴

Por causa do tempo de vida relativamente curto do CN, as emissões reduziram o aquecimento em semanas. O controle do CN, “especialmente de fontes de combustíveis fósseis, tem grande possibilidade de ser o método mais rápido de desacelerar o aquecimento” no futuro imediato, segundo o Dr. Mark Jacobson da Universidade de Stanford. Ele acredita que os grandes cortes nas emissões de CN poderiam desacelerar os efeitos da mudança climática em uma década ou duas,¹⁵ economizando o tempo dos elaboradores de política para que possam se dedicar à redução das emissões de CO₂.¹⁶ A redução das emissões de CN poderia ajudar a evitar que o sistema climático ultrapasse os limites máximos para mudanças climáticas abruptas, inclusive aumentos significativos no nível do mar resultantes da desintegração das camadas de gelo da Groenlândia e/ou da Antártica.¹⁷

“[E]missões de carbono negro são a segunda maior causa do aquecimento global atual, depois das emissões de dióxido de carbono,” segundo Dr. V. Ramanathan e Dr. G. Carmichael.¹⁸ Eles calculam que o forçamento climático direto do CN seja 0,9 W/m², que “equivale a 55% do forçamento de CO₂ e é maior do que o forçamento resultante de outros [GEEs] como o CH₄, CFCs, N₂O ou ozônio troposférico.”¹⁹ Outros cientistas estimam o forçamento direto de CN entre 0,2 e 0,6 W/m² com faixas que variam devido a incertezas (veja a Tabela 1). Esses dados são comparáveis com as estimativas de forçamento climático do IPCC de 1,66 W/m² para CO₂ e 0,48 W/m² para CH₄²⁰ (veja a Tabela 2) e não incluem os efeitos indiretos críticos do CN sobre o albedo de neve/gelo. Esses efeitos fazem com que o forçamento de CN seja de três a quatro vezes mais capazes de aumentar as temperaturas no Hemisfério Norte e no Ártico do que os valores equivalentes de forçamento de CO₂.²¹

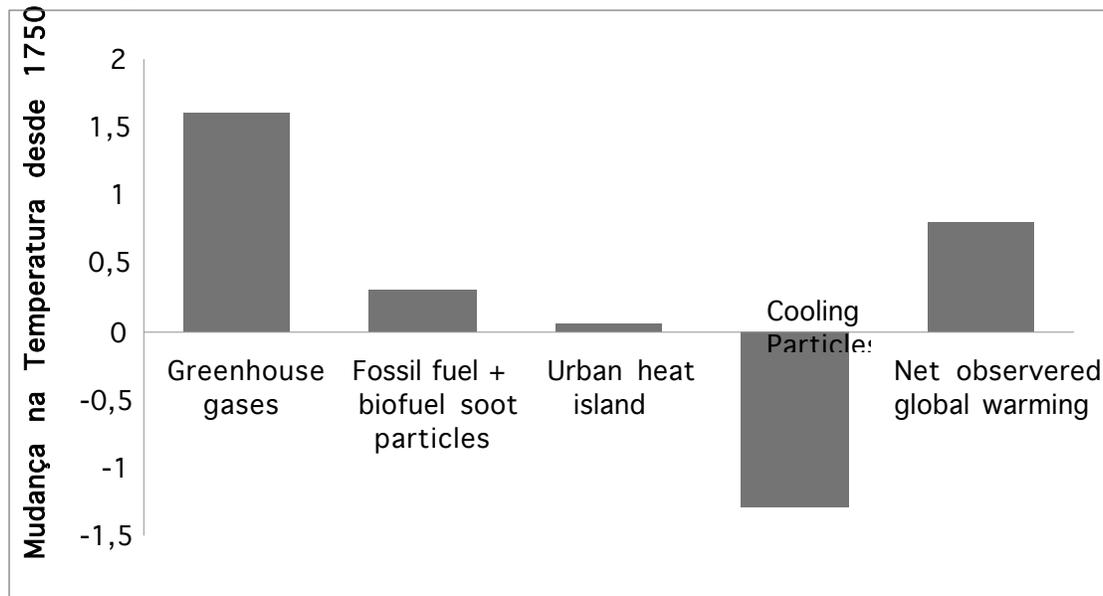
Jacobson calcula que a redução nas partículas de combustível fóssil e de fuligem de biocombustível eliminaria cerca de 40% do aquecimento global líquido observado²² (veja a Figura 1.) Além do CN, o combustível fóssil e a fuligem de biocombustível contêm aerossóis e matérias particuladas que resfriam o planeta ao refletir a radiação solar para fora da Terra.²³ Quando consideramos os aerossóis e as matérias particuladas, o combustível fóssil e a fuligem de biocombustível aumentam as temperaturas em cerca de 0,35°C.²⁴

O CN, por si só, teria um Potencial de Aquecimento Global (PAG) de 20 anos de 4.470 e um PAG de 100 anos de 1.055-2.240.²⁵ Em consequência da mistura com aerossóis resfriadores e matéria particulada, o CN tem um PAG de 20 anos de 2.530 e um PAG de 100 anos de 840-1.280.²⁶

No entanto, a perspectiva é que durante o século a quantidade desses aerossóis resfriadores na atmosfera diminua, em grande parte como consequência das reduções nas emissões de dióxido sulfúrico. Essas reduções revelarão o aquecimento por outros agentes, tais como o CN, que esses aerossóis resfriadores atualmente ajudam a compensar. Ao mesmo tempo, no cenário A1B do IPCC, as emissões de CN devem ser duplicadas, aumentando ainda mais seu efeito de aquecimento.²⁷ Assim, lidar com o CN é essencial tanto para prevenir aquecimentos adicionais resultantes das emissões de

CN quanto para atingir as reduções esperadas nos aerossóis resfriadores que atualmente mascaram os efeitos presentes do CN.²⁸

Figura 1²⁹



Legenda:

Gases de Efeito Estufa

Combustível fóssil + partículas de fuligem de biocombustível

Ilha de calor urbano

Partículas resfriadoras

Aquecimento global líquido observado

Contribuições primárias ao aquecimento global observado 1750 do presente dos cálculos de modelo global. As estimativas de combustível fóssil mais fuligem de biocombustível levam em consideração do efeito da fuligem no albedo de neve e gelo, assim como as partículas resfriadoras e matéria particulada emitida com o CN.

O CN Está Acelerando o Aquecimento do Mar-Gelo Ártico e das Geleiras do Himalaia

Segundo o IPCC, “a presença do CN em superfícies altamente refletoras, tal como neve e gelo, ou nuvens, pode causar um forçamento radioativo positivo significativo.”³⁰ O IPCC também observa que as emissões da queima de biomassa, que normalmente têm um forçamento negativo,³¹ têm um forçamento positivo sobre os campos de neve em áreas como o Himalaia.³²

O CN é uma causa significativa do degelo Ártico e a redução de tais emissões pode ser “a forma mais eficiente que conhecemos para mitigar o aquecimento do Ártico,” segundo o Dr. Charles Zender da Universidade da Califórnia, Irvine.³³ O “forçamento climático devido à mudança no albedo de neve/gelo é da ordem de 1,0 W/m² em áreas de latitude média e alta no Hemisfério Norte e sobre o Oceano Ártico.”³⁴ O “efeito da fuligem sobre o albedo de neve pode ser responsável por um quarto do aquecimento global observado.”³⁵ “A deposição de fuligem aumenta a superfície de degelo nas massas de gelo e a água do degelo provoca vários processos de *feedback* radioativo e dinâmico, que aceleram a desintegração do gelo,” segundo os cientistas da NASA, Dr. James Hansen e Dra. Larissa

Nazarenko.³⁶ Como resultado desse processo de *feedback*, “o CN na neve aquece o planeta cerca de três vezes mais do que um forçamento equivalente de CO₂.”³⁷ Quando as concentrações de CN no Ártico aumentam durante o inverno e a primavera, devido à Névoa Ártica, as temperaturas da superfície aumentam em 0,5°C.³⁸

As emissões de CN do norte da Eurásia, da América do Norte e da Ásia têm o maior impacto absoluto sobre o aquecimento ártico.³⁹ No entanto, as emissões de CN que efetivamente ocorrem no Ártico têm um impacto por partícula muito maior no aquecimento do Ártico do que as emissões originadas em qualquer outro lugar.⁴⁰ À medida que o gelo do Ártico derrete e aumenta o número de navios, as emissões originadas no Ártico devem aumentar.⁴¹

Em algumas regiões, como o Himalaia, o impacto do CN no degelo da calota de neve e geleiras pode ser igual ao impacto do CO₂.⁴² O ar mais quente resultante da presença do CN no sul e no leste da Ásia, sobre o Himalaia, contribui com um aquecimento de aproximadamente 0,6°C.⁴³ Uma “análise das tendências da temperatura sobre o lado tibetano do Himalaia revela um aquecimento de mais de 1°C desde a década de 1950.”⁴⁴ Esta grande tendência ao aquecimento é o fator causal proposto para o aceleração do desaparecimento das geleiras do Himalaia,⁴⁵ que ameaçam o abastecimento de água doce e a segurança alimentar na China e na Índia.⁴⁶

Principais Produtores de CN

Por Região: Os países desenvolvidos já foram a principal fonte de emissões de CN, mas isso começou a mudar na década de 1950, com a adoção de tecnologias de controle de poluição naqueles países.⁴⁷ Enquanto os EUA emitem cerca de 21% do CO₂ do mundo, ele emite 6,1% da fuligem do mundo.⁴⁸ Os Estados Unidos e a União Européia poderiam reduzir ainda mais as emissões de CN se acelerassem a implementação de regulamentos de CN, atualmente previstos para entrar em vigor em 2015 ou 2020⁴⁹ e dando apoio à adoção dos regulamentos pendentes da Organização Marítima Internacional (OMI).⁵⁰ Os regulamentos existentes também poderiam ser expandidos para aumentar o uso de tecnologias de diesel limpo e de carbono limpo, e desenvolver tecnologias de segunda geração.

Hoje, a maioria das emissões de CN vem de países em desenvolvimento⁵¹ e esta tendência deve aumentar.⁵² As maiores fontes de CN são a Ásia, a América Latina e a África.⁵³ A China e a Índia são responsáveis por 25-35% das emissões globais de CN.⁵⁴ As emissões de CN da China dobraram de 2000 a 2006.⁵⁵ As tecnologias existentes e bem testadas usada pelos países desenvolvidos, tais como diesel limpo e carvão limpo, poderiam ser transferidas aos países em desenvolvimento, para reduzir as emissões daqueles países.⁵⁶

As emissões de CN “têm seu ponto alto perto das principais regiões fontes e dão origem aos pontos quentes (*hotspots*) de CN – aquecimento solar atmosférico induzido.”⁵⁷ Esses pontos quentes incluem “as planícies indo-gangéticas no sul da Ásia; leste da China; maior parte do sudeste da Ásia, inclusive a Indonésia; regiões da África entre a África subsaariana e África do Sul; México e América Central; e a maior parte do Brasil e Peru na América do Sul.”⁵⁸ Aproximadamente três milhões de pessoas vivem nesses pontos quentes.⁵⁹

Por Fonte: Aproximadamente 20% do CN são emitidos pela queima dos biocombustíveis, 40% dos combustíveis fósseis, e 40% da queima aberta de biomassa, segundo Ramanathan.⁶⁰ Da mesma forma, a Dra. Tami Bond da Universidade de Illinois, Urbana Champaign, estima as fontes de emissões de CN como segue:⁶¹

42%	Queima aberta de biomassa (queimada de florestas e de savana)
18%	Biocombustível residencial queimado com tecnologias tradicionais
14%	Motores a diesel para transporte
10%	Motores a diesel para uso industrial
10%	Processos industriais e geração de energia, normalmente de pequenas caldeiras
6.0%	Carvão residencial queimado com tecnologias tradicionais ⁶²

As fontes de CN variam por região. Por exemplo, a maioria das emissões de fuligem no sul da Ásia resulta do biocombustível para cozinha, enquanto no leste da Ásia a combustão de carvão para uso residencial e industrial tem um papel mais importante.

O combustível fóssil e a fuligem de biocombustível têm quantidades significativamente maiores de CN do que os aerossóis e matérias particuladas que resfriam o clima, transformando as reduções dessas fontes em estratégias particularmente poderosas para a mitigação. Por exemplo, as emissões dos motores a diesel e das embarcações marítimas contêm níveis mais elevados de CN do que outras fontes.⁶³ Assim, a regulação das emissões de CN dos motores a diesel e das embarcações marítimas representa uma boa oportunidade de reduzir o impacto do CN sobre o aquecimento global.⁶⁴

A queima de biomassa emite quantidades maiores de aerossóis e matérias particuladas que resfriam o clima do que de CN, resultando em um resfriamento em curto prazo.⁶⁵ Contudo, em longo prazo, a queima de biomassa pode causar um aquecimento líquido quando se considera as emissões de CO₂ e o desmatamento.⁶⁶ Assim, a redução das emissões de biomassa reduziria o aquecimento global em longo prazo e traria co-benefícios como a redução da poluição atmosférica, das emissões de CO₂ e do desmatamento. Johannes Lehmann da Universidade de Cornell estima que o uso da agricultura de corte e carbonização invés da agricultura de corte e queima, que transforma a biomassa em cinza usando fogueiras abertas que liberam CN⁶⁷ e GEEs,⁶⁸ geraria uma redução anual de 12% das emissões de carbono antropogênicas causadas pelo uso da terra,⁶⁹ que é aproximadamente 0,66 Gt CO₂-eq. por ano, ou 2% de todas as emissões globais anuais de CO₂-eq.⁷⁰

Por Estação: A magnitude do forçamento e da resposta de temperatura ao carbono negro pode ser uma função da estação, especialmente no Ártico, onde a magnitude e o mecanismo do impacto climático são controlados pela relação entre transporte, presença do sol, derretimento da neve/gelo e deposição. No inverno e no começo da primavera, a combinação do transporte eficiente de poluentes das latitudes médias para o Ártico, e a remoção atmosférica limitada, resulta em contrações atmosféricas mais elevadas.⁷¹ Também pode haver altas concentrações no verão, quando as emissões das queimadas da floresta boreal atingem o Ártico.⁷²

A deposição de CN em superfícies de neve/gelo, altamente refletoras, diminui a refletividade da superfície e gera um forçamento positivo da superfície. O forçamento mais preocupante se dá no início da primavera, quando o início do degelo da placa de gelo pode ser acelerado.⁷³

A Tecnologia para Reduzir o CN está Disponível

Ramanathan observa que “as nações desenvolvidas reduziram as emissões de CN resultantes de fontes de combustível fóssil em um fator de 5 ou mais, desde 1950. Portanto, existe tecnologia para uma redução drástica do combustível fóssil relacionado ao CN.”⁷⁴

Jacobson acredita que “[d]adas as condições e os incentivos adequados, as tecnologias poluentes [fuligem] podem ser rapidamente eliminadas. Em algumas aplicações de pequena escala (como cozinha doméstica nos países em desenvolvimento), a saúde e a conveniência levarão a essa transição, quando houver alternativas a baixo custo e confiáveis. No caso de outras fontes, como veículos ou caldeiras a carvão, pode ser necessário adotar medidas para regular impulsionar a transição da tecnologia existente, ou para o desenvolvimento de nova tecnologia.”⁷⁵

Hansen afirma que “está a nosso alcance a tecnologia que pode reduzir significativamente a fuligem, restaurar o albedo de neve a valores praticamente perfeitos, enquanto geram diversos outros benefícios para o clima, a saúde humana, a produtividade agrícola e a estética ambiental. As emissões de fuligem do carvão já estão diminuindo em muitas regiões com a transição de pequenos usuários para usinas com esfregões.”⁷⁶

Jacobson sugere converter “os veículos [dos EUA] de combustível fóssil para elétrico, híbridos ou movidos a célula de combustível de hidrogênio, onde a eletricidade ou o hidrogênio são produzidos por uma fonte de energia renovável, como eólica, solar, geotérmica, hidroelétrica, onda ou energia das marés. Tal conversão eliminaria 160 Gg/a (24%) da fuligem de combustível fóssil dos EUA (ou 1.5% do mundo) e cerca de 26% do dióxido de carbono dos EUA (ou 5.5% do mundo).”⁷⁷ Segundo as estimativas de Jacobson, esta proposta reduziria as emissões de fuligem e de CO₂ em 1.63 GtCO₂-eq. ao ano.⁷⁸ Contudo, ele observa que “a eliminação de hidrocarbonos e óxidos de nitrogênio também elimina algumas partículas resfriadores, reduzindo o benefício líquido em, no máximo, a metade, mas melhorando a saúde humana,” uma redução substantiva para uma estratégia em um país.⁷⁹

Particularmente para os veículos a diesel, existem diversas tecnologias eficientes. Os catalisadores de oxidação de diesel são utilizados há mais de 30 anos e podem ser usados em praticamente qualquer veículo a diesel, e que pode eliminar de 25-50% das emissões gerais de particulados.⁸⁰ Filtros de particulado de diesel (DPFs) mais eficientes e modernos podem eliminar mais de 90% das emissões de carbono negro,⁸¹ mas esses dispositivos precisam de combustível ultra diesel com baixo teor em enxofre (ULSD). Para garantir o cumprimento com as novas regras de particulados para veículos novos *on-road* e *off-road* nos EUA, a EPA (Agência de Proteção Ambiental dos EUA) exigiu uma mudança para ULSD, em nível nacional, que permitiu o uso de DPFs nos veículos a diesel para atender aos requisitos.

Por causa dos recentes regulamentos da EPA, as emissões de CN dos veículos a diesel devem diminuir em cerca de 70% entre 2001 e 2020.⁸² De forma geral, “as emissões de CN nos Estados Unidos devem diminuir em 42 por cento entre 2001 e 2020.”⁸³ Quando toda a frota estiver sujeita a essas regras, a EPA estima que mais de 239.000 toneladas de matéria particulada venham a ser reduzidas a cada ano.⁸⁴ Fora dos EUA, normalmente é possível encontrar os catalisadores de oxidação de diesel e os DPFs serão disponibilizados à medida que o ULSD for mais amplamente comercializado. Além disso, um tipo mais novo de filtro, conhecido como filtro parcial, ou de fluxo, não prende as partículas, mas as oxida usando um caminho tortuoso de fluxo com catalisadores.⁸⁵ Estes filtros estão se tornando mais populares, já que não precisam de ultra diesel com baixo teor de enxofre e podem eliminar de 40 a 70% dos particulados.⁸⁶

Outra tecnologia para reduzir as emissões de CN dos motores a diesel é mudar os combustíveis para gás natural comprimido. Em Nova Deli, Índia, uma mudança obrigatória para gás natural comprimido para todos os veículos de transporte público, inclusive ônibus, táxis e *rickshaws*, resultou em um benefício climático, “em grande parte por causa da redução drástica das emissões de carbono negro dos

motores a diesel dos ônibus.”⁸⁷ De forma geral, a mudança de combustível para os veículos reduziu as emissões de carbono negro o bastante para produzir uma redução líquida de 10 por cento no CO₂-eq. e, talvez, até de 30 por cento.⁸⁸ Os principais ganhos dos motores a diesel de ônibus, que tiveram suas emissões de CO₂-eq. reduzidas em 20 por cento.⁸⁹ Segundo um estudo que analisou as reduções de emissões, “há um significativo potencial de redução das emissões com o Desenvolvimento Limpo [UNFCCC] para esses projetos de troca de combustível.”⁹⁰

Também estão em desenvolvimento tecnologias para reduzir as 133.000 toneladas métricas de matéria particulada emitida pelos navios a cada ano.⁹¹ Os navios de oceano usam motores a diesel e agora estão testando filtros particulados semelhantes àqueles utilizados para veículos terrestres. Assim como os atuais filtros particulados, os navios também precisam utilizar o ULSD, mas se for possível chegar a reduções semelhantes às dos veículos terrestres, seria possível eliminar até 120.000 toneladas métricas de emissão particulada por ano no transporte marítimo internacional.⁹² Outros esforços podem reduzir a quantidade de emissões de CN dos navios, simplesmente diminuindo a quantidade de combustível que o navio usa. Viajando a velocidades mais baixas ou usando a eletricidade da costa quando estiver no porto, ao invés de deixar os motores do navio ligados para gerar energia elétrica, os navios podem economizar combustível e reduzir as emissões.

Ramanathan estima que “oferecer fogões alternativos que tenham maior eficiência de energia e não produzam fumaça, e introduzir a tecnologia de transferência para reduzir as emissões de fuligem da combustão do carvão em pequenas indústrias, poderia ter grandes impactos no forçamento radioativo resultante da fuligem.”⁹³ Mais especificamente, o impacto da substituição de fogões com biocombustível por fogões sem CN (solar, bio e gás natural) no sul e no leste da Ásia é impressionante: no sul da Ásia, uma redução no aquecimento por CN de 70 a 80% e, no leste da Ásia, uma redução de 20 a 40%.⁹⁴

A Redução do CN Traz Grandes Co-Benefícios para a Saúde Pública e Segurança Alimentar

A redução das emissões de CN traz grandes co-benefícios para a saúde pública, com potencial de economizar até três milhões de vidas por ano que, de outra forma, seriam perdidas por conta da poluição atmosférica (tanto em ambientes fechados quanto a céu aberto).⁹⁵ Também oferece significativos co-benefícios para a agricultura, ao reduzir o impacto danoso do CN sobre as plantas, assim aumentando a produtividade da plantação.⁹⁶

São Necessários Novos e Melhores Esforços para Lidar com o Carbono Negro

São necessários novos e melhores esforços para lidar com o Carbono Negro em todos os níveis, do local ao internacional. Uma lista inicial de opções em nível internacional e regional inclui:

- Desenvolver um tratado sob auspício do PNUMA.
- Expandir o tratado climático da ONU pós-2012.
- Desenvolver um arranjo regional sob o Conselho Ártico.
- Criar áreas de preservação para restringir o movimento de navios no Ártico e em outras áreas sensíveis à mudança do Carbono Negro no albedo.
- Expandir e fortalecer os controles sobre a navegação, segundo a Organização Marítima Internacional.
- Expandir e fortalecer os controles sobre aviação, segundo a Organização de Aviação Civil Internacional.

- Expandir e fortalecer os controles sobre fontes fixas e móveis, nos termos da Convenção sobre Poluição Atmosférica Transfronteiriça a Longa Distância.

Com base nas leis existentes mencionadas abaixo, na discussão sobre cumprimento, há muitas opções em nível nacional e local para desenvolver leis novas e mais robustas para lidar com o Carbono Negro. Essas leis podem ser elaboradas por grupos parlamentares como o GLOBE, assim como pelos órgãos legisladores nacionais. Além disso, há outros processos políticos que podem ser usados para lidar com o carbono negro de imediato, inclusive:

- Utilizar o Fundo de Investimento Climático do Banco Mundial para ajudar a reduzir o Carbono Negro.
- Enfatizar os benefícios climáticos e outras sinergias entre a redução do Carbono Negro e os esforços da Organização Mundial da Saúde para reduzir a poluição atmosférica em ambientes fechados e melhorar a saúde de mulheres e crianças.
- Enfatizar a importância do Carbono Negro para atingir as Metas de Desenvolvimento do Milênio.
- Buscar e contabilizar os benefícios do Carbono Negro nos esforços da Cúpula Mundial para o Desenvolvimento Sustentável (CMDS) para que a população pobre tenha acesso a recursos de energia limpa.

Um resultado importante da CMDS foi a Parceria do PNUMA para Combustíveis e Veículos Limpos, que tem auxiliado na transição para combustíveis sem chumbo e agora visa a expansão da disponibilidade de ultra diesel com baixo teor de enxofre (ULSD).⁹⁷ Este combustível não só reduz as emissões de enxofre, resultando em menos poluição atmosférica no geral, mas também permite o uso de tecnologias mais efetivas de controle de emissões de particulados.

Melhorar o Cumprimento e a Execução das Leis Existentes Reduzirá o Carbono Negro

Muitos países têm leis nacionais em vigor que podem ser usadas para começar a regulamentar as emissões de CN, inclusive leis que lidam com as emissões de particulados. Entre os exemplos, podemos citar:

- Abolição ou regulamentação do corte e queima das florestas e savanas;
- Exigência da eletrificação/geração de energia na costa para os navios nos portos, regulamentando o tempo ocioso nos terminais e impondo padrões de combustível para os navios que quiserem atracar no porto;
- Exigência de testes de emissões de veículos regulares, ou adaptação (por exemplo, colocação de filtros de particulado⁹⁸), prevendo penalidades para não atendimento aos requisitos de emissões de qualidade do ar, e penalidades maiores para veículos em circulação que sejam “super emitentes”;
- Abolição ou regulamentação da venda de certos combustíveis e/ou exigência do uso de combustíveis mais limpos para determinados usos;
- Limitação do uso de chaminés e outras formas de queima de biomassa em áreas urbanas e não urbanas;
- Exigência de licença para operar estabelecimentos industriais, de geração de energia e de refinamento de óleo, e renovação periódica da licença e/ou modificação do equipamento; e,

- Exigência de tecnologia de filtragem e combustão em alta temperatura (por exemplo, carvão super crítico) para as usinas de geração de energia existentes e regulamentação das emissões anuais das usinas de geração de energia.

A aplicação dessas leis nacionais e outras pertinentes, em conjunto com a devida assistência ao cumprimento, promoverá a mitigação climática em curto prazo, assim como fortes co-benefícios. A Rede Internacional para Cumprimento e Aplicação Ambiental lançou, recentemente, um *Alerta de Cumprimento sobre o Carbono Negro*.⁹⁹

Tabela 1: Estimativas de Forçamentos de Clima (Radioativos) de Carbono Negro por Efeito

Fonte	Forçamento Radioativo de Carbono Negro (W/m ²)				
	Forçamento Direto	Efeito Semi-Direto ¹⁰⁰	Efeito de Nuvens Sujas ¹⁰¹	Efeito no Albedo de Neve/Gele	Total
IPCC (2007) ¹⁰²	0.2 ± 0.15	-	-	0.1 ± 0.1	0.3 ± 0.25
Jacobson (2001, 2004, e 2006)	0.55 ¹⁰³	-	0.03 ¹⁰⁴	0.06 ¹⁰⁵	0.64 ¹⁰⁶
Hansen (2001, 2002, 2003, 2005, e 2007)	0.2 - 0.6 ¹⁰⁷	0.3 ± 0.3 ¹⁰⁸	0.1 ± 0.05 ¹⁰⁹	0.2 ± 0.1 ¹¹⁰	0.8 ± 0.4 (2001) 1.0 ± 0.5 (2002) ≈0.7 ± 0.2 (2003) 0.8 (2005) ¹¹¹
Hansen & Nazarenko (2004) ¹¹²	-	-	-	~ 0.3 mundialmente 1.0 ¹¹³ Ártico	-
Ramanathan (2007) ¹¹⁴	0.9	-	-	0.1 to 0.3	1.0 to 1.2

Tabela 2: Forçamentos Climáticos Estimados (W/m²)

Componente	IPCC (2007) ¹¹⁵	Hansen, <i>et al.</i> (2005) ¹¹⁶
CO ₂	1.66	1.50
BC	0.05-0.55	0.8
CH ₄	0.48	0.55
Ozônio Troposférico	0.35	0.40
Halocarbonos	0.34	0.30
N ₂ O	0.16	0.15

Notas de final:

¹See Mark Jacobson, *Control of Fossil-Fuel Particulate Black Carbon and Organic Matter, Possibly the Most Effective Method of Slowing Global Warming*, 107 J. GEOPHYS. RES. D19 (2002).

² Abrupt climate change refers to the passing of a point beyond which no further inputs are required for the climate system to amplify itself irreversibly out of control on human time-scales. Timothy Lenton, Hermann Held, Elmar Kriegler, Jim Hall, Wolfgang Lucht, Stefan Rahmstorf, and Hans Joachim Schellnhuber, *Tipping elements in the Earth's climate system*, 105 PROC. OF THE NAT'L ACAD. OF SCI. U.S.A. 6 (Feb. 12, 2008) (The palaeoclimate records show that past climate changes have included both steady linear changes, as well as abrupt non-linear changes where small increases in warming produced large and irreversible impacts once a tipping point was passed, including rapid loss of ice causing significant sea-level rise. Abrupt climate changes also are possible in the future. Tipping points for ice-melt in the Arctic and ice-melt and disintegration of the Greenland Ice Sheet are considered to be among the most sensitive. The tipping point for the loss of the West Antarctic Ice Sheet is considered less sensitive, though with large uncertainty. Other tipping points may apply to the Atlantic thermohaline circulation, the Amazon rainforest and boreal forests, the El Niño phenomenon, and the West African monsoon.) See also James Hansen, *Scientific reticence and sea level rise*, ENVIRON. RES. LETT. 2 (2007); James Hansen, *Climate Catastrophe*, NEW SCIENTIST (28 July 2007); Committee on Abrupt Climate Change, *Abrupt Climate Change: Inevitable Surprises*, National Academy Press, Washington, D.C., 2003 (the “available evidence suggests that abrupt climate changes are not only possible, but likely in the future, potentially with large impacts on ecosystems and societies”); See also Peter Schwartz & Doug Randall, *An Abrupt Climate Change Scenario and Its Implications for United States National Security* (2003) (warning that result of abrupt climate change without adequate preparation “could be a significant drop in the human carrying capacity of the Earth’s environment”, including shortages of food and fresh water, drought, and flooding, which could lead to geopolitical de-stabilization and “skirmishes, battles, and even war.”), <http://www.gbn.com/ArticleDisplayServlet.srv?aid=26231>; and Chris Abbott, Paul Rogers, and John Slobada, *Global Responses to Global Threats: Sustainable Security for the 21st Century*, Oxford Research Group, June 2006, http://www.oxfordresearchgroup.org.uk/publications/briefing_papers/globalthreats.php.

³ James Hansen recently estimated that the concentration beyond which the CO₂ level in the atmosphere is potentially catastrophic is 350ppm, a point which has already been passed. James Hansen, *Target Atmospheric CO₂: Where Should Humanity Aim?*, at 11 (18 June 2008) (“Equilibrium sea level rise for today’s 385 ppm CO₂ is at least several meters, judging from paleoclimate history. Accelerating mass losses from Greenland and West Antarctica heighten concerns about ice sheet stability. An initial CO₂ target of 350 ppm, to be reassessed as the effect on ice sheet mass balance is observed, is suggested.”) (Internal citations omitted).

⁴ IPCC, *Changes in Atmospheric Constituents and in Radiative Forcing*, in CLIMATE CHANGE 2007: THE PHYSICAL SCIENCE BASIS. CONTRIBUTION OF WORKING GROUP I TO THE FOURTH ASSESSMENT REPORT OF THE INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE 129, 132 (2007), available at <http://www.ipcc.ch/ipccreports/ar4-wg1.htm>. (Magnitudes and uncertainties added together, as per standard uncertainty rules).

⁵ V. Ramanathan and G. Carmichael, *Global and regional climate changes due to black carbon*, 1 NATURE GEOSCIENCE 221-22 (23 March 2008) (“The BC forcing of 0.9 W m⁻² (with a range of 0.4 to 1.2 W m⁻²) ... is as much as 55% of the CO₂ forcing and is larger than the forcing due to the other GHGs such as CH₄, CFCs, N₂O or tropospheric ozone.”)

⁶ *Id.* at 221 and 224.

⁷ Charles Zender, Written Testimony for the Hearing on Black Carbon and Climate Change, U.S. House Committee on Oversight and Government Reform 1 (18 October 2007), available at <http://oversight.house.gov/documents/20071018110919.pdf> [hereinafter Zender Testimony].

⁸ Zender Testimony, *Id.* at 6 (“Reducing Arctic BC concentrations sooner rather than later is the most efficient way to mitigate Arctic warming that we know of”).

⁹ V. Ramanathan, Testimony for the Hearing on Black Carbon and Climate Change, U.S. House Committee on Oversight and Government Reform, 4 (18 October 2007), available at <http://oversight.house.gov/story.asp?ID=1550> [hereinafter Ramanathan Testimony] (“The developed nations have reduced their BC emissions from fossil fuel sources by a factor of 5 or more since the 1950s. Thus the technology exists for a drastic reduction of fossil fuel related BC”); but compare Bond, T. C., E. Bhardwaj, R. Dong, R. Jogani, S. Jung, C. Roden, D. G. Streets, and N. M. Trautmann *Historical emissions of black and organic carbon aerosol from energy-related combustion, 1850–2000*, 21 GLOBAL BIOGEOCHEMICAL CYCLES GB2018 (2007) (Previous work suggests a rapid rise in [global] BC emissions between 1950 and 2000; this work supports a more gradual, smooth increase between 1950 and 2000).

¹⁰ See Bond, *supra* note 9.

¹¹ IPCC, *Changes in Atmospheric Constituents and in Radiative Forcing*, in CLIMATE CHANGE 2007: THE PHYSICAL SCIENCE BASIS. CONTRIBUTION OF WORKING GROUP I TO THE FOURTH ASSESSMENT REPORT OF THE INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE 129, 136, 163 (2007), available at <http://www.ipcc.ch/ipccreports/ar4-wg1.htm>.

¹² See *id.* at 164, 170, 174-76, 217-34 (citing studies by Ramanathan, Jacobson, Zender, Hansen, and Bond); *supra* notes 7-8 (Zender Testimony and Ramanathan Testimony); *infra* notes 16 and 51 (Jacobson Testimony and Bond Testimony).

¹³ See Flanner, M.G., C.S. Zender, J.T. Randerson, and P.J. Rasch, *Present-day climate forcing and response from black carbon in snow*, 112 J. GEOPHYS. RES. D11202 (2007) (noting “black carbon (BC), the strongly absorbing component of carbonaceous aerosols”)

¹⁴ V. Ramanathan & G. Carmichael, *supra* note 5, at 226.

¹⁵ Ramanathan Testimony, *supra* note 9, at 3 (“Thus a drastic reduction in BC has the potential of offsetting the CO₂ induced warming for a decade or two.”).

¹⁶ Mark Z. Jacobson, Testimony for the Hearing on Black Carbon and Climate Change, U.S. House Committee on Oversight and Government Reform 12 (18 October 2007), *available at* <http://oversight.house.gov/documents/20071018110606.pdf> [hereinafter Jacobson Testimony]; V. Ramanathan and G. Carmichael, *supra* note 5, at 226 (Reducing future black carbon, or soot, emissions “offers an opportunity to mitigate the effects of global warming trends in the short term,” according to Dr. V. Ramanathan of the Scripps Institution of Oceanography and Dr. G. Carmichael of the University of Iowa. Drastic climate mitigation results from BC’s “significant contribution to global radiative forcing” and its “much shorter lifetime [estimated to be one week] compared with CO₂ [which has a lifetime of 100 years or more]”).

¹⁷ Timothy Lenton, Hermann Held, Elmar Kriegler, Jim Hall, Wolfgang Lucht, Stefan Rahmstorf, and Hans Joachim Schellnhuber, *Tipping elements in the Earth’s climate system*, 105 PROC. OF THE NAT’L ACAD. OF SCI. 6 (12 February 2008) (“The greatest threats are tipping the Arctic sea-ice and the Greenland ice sheet. . .”); J. Hansen, *Climate Catastrophe*, NEW SCIENTIST (28 July 2007) (“...the primary issue is whether global warming will reach a level such that ice sheets begin to disintegrate in a rapid, non-linear fashion on West Antarctica, Greenland or both.”).

¹⁸ V. Ramanathan and G. Carmichael, *supra* note 5, at 221 (“. . . emissions of black carbon are the second strongest contribution to current global warming, after carbon dioxide emissions.”) Numerous scientists also calculate that BC may be second only to CO₂ in its contribution to climate change, including Tami C. Bond & Haolin Sun, *Can Reducing Black Carbon Emissions Counteract Global Warming*, ENVIRON. SCI. TECHN. (2005), at 5921 (“BC is the second or third largest individual warming agent, following carbon dioxide and methane.”); and J. Hansen, *A Brighter Future*, 53 CLIMATE CHANGE 435 (2002), *available at* http://pubs.giss.nasa.gov/docs/2002/2002_Hansen_1.pdf (calculating the climate forcing of BC at 1.0 +/- 0.5 W/m²).

¹⁹ V. Ramanathan and G. Carmichael, *supra* note 5, at 222.

²⁰ IPCC, *Technical Summary*, in CLIMATE CHANGE 2007: THE PHYSICAL SCIENCE BASIS. CONTRIBUTION OF WORKING GROUP I TO THE FOURTH ASSESSMENT REPORT OF THE INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE, 21 (2007) *available at* <http://www.ipcc.ch/ipccreports/ar4-wg1.htm>.

²¹ James Hansen & Larissa Nazarenko, *Soot Climate Forcing Via Snow and Ice Albedos*, 101 PROC. OF THE NAT’L ACAD. OF SCI. 423 (13 January 2004) (“The efficacy of this forcing is ≈2 (i.e. for a given forcing it is twice as effective as CO₂ in altering global surface air temperature”); compare Zender Testimony, *supra* note 8, at 4 (figure 3); See J. Hansen & L. Nazarenko, *supra* note 21, at 426. (“The efficacy for changes of Arctic sea ice albedo is >3. In additional runs not shown here, we found that the efficacy of albedo changes in Antarctica is also >3.”); See also Flanner, M.G., C.S. Zender, J.T. Randerson, and P.J. Rasch, *Present-day climate forcing and response from black carbon in snow*, 112 J. GEOPHYS. RES. D11202 (2007) (“The forcing is maximum coincidentally with snowmelt onset, triggering strong snow-albedo feedback in local springtime. Consequently, the “efficacy” of BC/snow forcing is more than three times greater than forcing by CO₂.”).

²² Gross global warming should result in about 2°C temperature rise. However, observed global warming is only about .8°C because cooling particles off set much of the warming. Reducing fossil fuel and biofuel soot would reduce about 40% of the observed warming and about 16% of the gross warming. Jacobson Testimony, *supra* note 16, at 3. (“The figure also shows that fossil-fuel plus biofuel soot may contribute to about 16% of gross global warming (warming due to all greenhouse gases plus soot plus the heat island effect), but its control in isolation could reduce 40% of net global warming.”).

²³ Jacobson Testimony, *id.* at 4.

²⁴ Jacobson Testimony, *id.*

²⁵ Jacobson Testimony, *id.* Because it is an aerosol, there is no standardized formula for developing global warming potentials (GWP) for black carbon. However, attempts to derive GWP100 range from 190 – 2240. Jacobson M Z, *Correction to ‘Control of fossil-fuel particulate black carbon and organic matter, possibly the most effective method of slowing global warming,’* 110 J. GEOPHYS. RES. D14105 (2005) (GWP BC – 190); Hansen, J., Mki. Sato, P. Kharecha, G. Russell, D.W. Lea, and M. Siddall, *Climate change and trace gases*, PHIL. TRANS. ROYAL. SOC. A, 365, 1925 (2007) (GWP BC – 500); Bond, T. and Haolin, Sun, “Can Reducing Black Carbon Emissions Counteract Global Warming?” ENVTL. SCI. & TECH., 5921 (August 2005) (GWP BC – 680); Jacobson Testimony, *supra* note 16 at 4 (GWP BC – 2240)

²⁶ Jacobson Testimony, *supra* note 16, at 4.

²⁷ Levy, H. II, M.D., et. al., *Strong Sensitivity of late 21st century climate to projected change in short-lived air pollutants*, 113 J. GEOPHYS. RES. D06102, 2 (2008) (BC and OC emissions, which are scaled to carbon monoxide (CO) emissions, increase continuously and almost double by 2100.); *id.* (“These emissions are based on projections of technological change, economic and population growth, and regulatory action out to 2100.”)

²⁸ *Id* at 1 (“However, by year 2100, the projected decrease in sulfate aerosol (driven by a 65% reduction in global sulfur dioxide emissions) and the projected increase in black carbon aerosol (driven by a 100% increase in its global emissions) contribute to a significant portion of the simulated A1B surface warming relative to the year 2000”).

²⁹ Jacobson Testimony, *supra* note 16 at 3.

³⁰ IPCC, *Radiative Forcing of Climate Change*, in CLIMATE CHANGE 2001: THE SCIENTIFIC BASIS. CONTRIBUTION OF WORKING GROUP I TO THE INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE 351, 397. (“While the radiative forcing is generally negative, positive forcing occurs in areas with a very high surface reflectance such as desert regions in North Africa, and the snow fields of the Himalayas.”); J. Hansen & L. Nazarenko, *supra* note 21, at 425. (The brown haze over India, heavy with fossil fuel and biofuel soot, reaches to the Himalayas. If prevailing winds deposit even a fraction of this soot on glaciers, the snow BC content could be comparable to that in the Alps.”).

³¹ J. Hansen, *et al.*, *Efficacy of Climate Forcing*, 110 J. GEOPHYS. RES. D18104, 1 (2005), available at http://pubs.giss.nasa.gov/docs/2005/2005_Hansen_et_al_2.pdf (Accounting for forcing efficacies and for indirect effects via snow albedo and cloud changes, we find that fossil fuel soot, defined as BC + OC (organic carbon), has a net positive forcing while biomass burning BC + OC has a negative forcing).

³² IPCC, *supra* note 30, at 397.

³³ Zender Testimony, *supra* note 8, at 6.

³⁴ J. Hansen & L. Nazarenko, *supra* note 21, at 425.

³⁵ J. Hansen & L. Nazarenko, *id.* at 428.

³⁶ J. Hansen & L. Nazarenko, *id.* at 425.

³⁷ *See supra* note 21.

³⁸ P.K. Quinn, T.S. Bates, E. Baum, N. Doubleday, A.M. Fiore, M. Flanner, A. Fridlind, T.J. Garrett, D. Koch, S. Menon, D. Shindell, A. Stohl, and S.G. Warren. *Short-lived Pollutants in the Arctic: Their Climate Impact and Possible Mitigation Strategies*, 8 ATMOS. CHEM. PHYS. 1723, 1731 (2008); *See* David Shukman, *Vast Cracks Appear in Arctic Ice*, BBC NEWS (23 May 2008), available at <http://news.bbc.co.uk/2/hi/science/nature/7417123.stm> (A recent expedition study by Canada confirmed vast cracks stretching for more than 10 miles on Ward Hunt).

³⁹ P.K. Quinn, *supra* note 38, at 1732.

⁴⁰ P.K. Quinn, *id.*

⁴¹ P.K. Quinn, *id.* at 1732; J. Hansen & M. Sato, *et al.*, *Dangerous Human-Made Interference with Climate: a GISS modelE Study* 7 ATMOS. CHEM. PHYS. DISCUSS. 2287, 2287 (2007) (“We suggest that Arctic climate change has been driven as much by pollutants (O₃, its precursors CH₄ and soot) as by CO₂, offering hope that dual efforts to reduce pollutants and slow CO₂ growth could minimize Arctic change”).

⁴² V. Ramanathan & G. Carmichael, *supra* note 5, at 221.

⁴³ *Id.* at 224.

⁴⁴ *Id.*

⁴⁵ *Id.*

⁴⁶ Lester R. Brown, *Melting Mountain Glaciers Will Shrink Grain Harvests in China and India*, PLAN B UPDATE, Earth Policy Institute (20 March 2008), available at <http://www.earth-policy.org/Updates/2008/Update71.htm> (Melting Himalayan glaciers will soon reduce water supply for major Chinese and Indian rivers (Ganges, Yellow River, Yangtze River) that irrigate rice and wheat crops that feed hundreds of millions and “could lead to politically unmanageable food shortages.”).

⁴⁷ V. Ramanathan & G. Carmichael, *supra* note 5, at 221 (“Until about the 1950s, North America and Western Europe were the major sources of soot emissions, but now developing nations in the tropics and East Asia are the major source problem.”).

⁴⁸ Jacobson Testimony, *supra* note 16, at 4.

⁴⁹ Clean Air Fine Particle Implementation Rule, 72 Fed. Reg. 20586, 20587 (April 25, 2007) (to be codified as 40 C.F.R. pt. 51), available at <http://www.epa.gov/fedrgstr/EPA-AIR/2007/April/Day-25/a6347.pdf>; Press Release, European Union, Environment: Commission welcomes final adoption of the air quality directive, (April 14, 2008), available at <http://europa.eu/rapid/pressReleasesAction.do?reference=IP/08/570&format=HTML&aged=0&language=EN&guiLanguage=en>.

⁵⁰ International Maritime Organization, Press Release, IMO Environment meeting Approves Revised Regulations on Ship Emissions, International Maritime Organization (4 April 2008), available at http://www.imo.org/About/mainframe.asp?topic_id=1709&doc_id=9123 (The IMO has approved amendments to MARPOL Annex VI *Regulations for the Prevention of Air Pollution from Ships* which are now subject to adoption at an October 2008 meeting.).

⁵¹ Tami Bond, Testimony for the Hearing on Black Carbon and Climate Change, U.S. House Committee on Oversight and Government Reform 2-3 (October 18, 2007), available at <http://oversight.house.gov/documents/20071018110647.pdf> [hereinafter Bond Testimony].

-
- ⁵² Jacobson Testimony, *supra* note 16, at 5.
- ⁵³ Tami Bond, *Summary: Aerosols, Air Pollution as a Climate Forcing: A Workshop*, Honolulu, Hawaii, April 29-May 3, 2002, available at <http://www.giss.nasa.gov/meetings/pollution2002>.
- ⁵⁴ V. Ramanathan & G. Carmichael, *supra* note 5, at 226.
- ⁵⁵ V. Ramanathan & G. Carmichael, *supra* note 5, at 226.
- ⁵⁶ Ramanathan Testimony, *supra* note 9, at 4.
- ⁵⁷ V. Ramanathan & G. Carmichael, *supra* note 5, at 221.
- ⁵⁸ V. Ramanathan & G. Carmichael, *id.*
- ⁵⁹ V. Ramanathan & G. Carmichael, *id.*
- ⁶⁰ V. Ramanathan & G. Carmichael, *id.* at 224.
- ⁶¹ See Bond Testimony, *supra* note 51, at 2 (figure 1).
- ⁶² Bond Testimony, *id.* at 1-2.
- ⁶³ Jacobson Testimony, *supra* note 16, at 5-6 (showing that shipping emissions produce more than 3 times as much BC as POC, while off-road vehicles produce 40% more BC than POC, and on-road vehicles produce 25-60% more BC than POC).
- ⁶⁴ Although shipping only accounts for 1.7% of the global BC inventory, given the expected increase in shipping throughout regions especially sensitive to BC like the Arctic, it still represents a strong option for BC reductions. Lack, D., B. Lerner, C. Granier, T. Baynard, E. Lovejoy, P. Massoli, A. R. Ravishankara, and E. Williams, Light absorbing carbon emissions from commercial shipping, 35 *Geophysical Res. Letters* L13815 (2008).
- ⁶⁵ J. Hansen *et al.*, *Efficacy of Climate Forcing*, *supra* note 31.
- ⁶⁶ Mark. Z. Jacobson, *The Short-Term Cooling but Long-Term Global Warming Due to Biomass Burning*, 17 *J. OF CLIMATE* 2909, 2923 (“... whereas aerosol particles emitted during burning may cause a short-term cooling of global climate, longer-lived greenhouse gases may cause warming (or cancel the cooling) after several decades. As such, reducing biomass burning may cause short-term warming but long-term cooling or no change in temperature. Although the eventual cooling may not appear for many years, its magnitude may be as large as 0.6 K after 100 yr.”).
- ⁶⁷ Surabi Menon, James Hansen, Larissa Nazarenko, & Yunfeng Luo, *Climate Effects of Black Carbon*, 297 *SCIENCE* 2250, 2250 (27 September 2002) (Black Carbon emissions are “a product of incomplete combustion from coal, diesel engines, biofuels, and outdoor biomass burning . . .”).
- ⁶⁸ See Lehmann, *et al.*, *Bio-Char Sequestration in Terrestrial Ecosystems – A Review*, 11 *MITIGATION AND ADAPTATION STRATEGIES FOR GLOBAL CHANGE* 403, at 403-07, 418 (Springer 2006), available at <http://www.css.cornell.edu/faculty/lehmann/publ/MitAdaptStratGlobChange%2011.%20403-427.%20Lehmann.%202006.pdf>; See *id.* at 407 (Researchers estimate that between 38-84% of the biomass carbon in vegetation is released during the burn, whereas converting the biomass into bio-char by means of simple kiln techniques sequesters more than 50% of this carbon in bio-char).
- ⁶⁹ *Id.* at 407-08.
- ⁷⁰ See Raupach, Michael, *et al.*, *Global and Regional Drivers of Accelerating CO₂ Emissions*, 104 *PROC. OF THE NAT’L ACAD. OF SCI.* 24, (underlying data available at, <http://www.pnas.org/cgi/content/full/0700609104/DC1>) (indicating that between 2000-2005 land use emissions annually represented on average 1.5 GtC of the total 8.7 GtC global emissions or 5.5 Gt CO₂ eq. of 31.9 Gt CO₂ eq. of global emissions—17.25% of total. A reduction of 12% of land use emissions equals 0.66 Gt CO₂ eq., approximately 2% of annual global CO₂ eq. emissions. Lehmann’s original estimates were based on a 0.2 GtC offset of the 1.7 GtC emissions from land use change estimated in 2001 by the IPCC). See also Lehmann, *et al.*, *supra* note 68, at 407-08. (Given the increase in fossil fuel emissions to 8.4 GtC, total anthropogenic emissions in 2006, including the estimated 1.5 GtC from land use change, were 9.9 GtC. Thus, despite an increase in overall CO₂ eq. emissions, using Lehmann’s original 0.2 GtC reduction still results in an approximate 2% reduction in global CO₂ eq. emissions). See Global Carbon Budget Team, *Recent Carbon Trends and the Global Carbon Budget*, the Global Carbon Project, (15 November 2007), available at http://www.globalcarbonproject.org/global/pdf/GCP_CarbonCycleUpdate.pdf (giving 2006 global carbon emissions estimates).
- ⁷¹ *Id.*
- ⁷² Stohl, A., E. Andrews, J. F. Burkhart, C. Forster, A. Herber, S. W. Hoch, D. Kowal, C. Lunder, T. Mefford, J. A. Ogren, S. Sharma, N. Spichtinger, K. Stebel, R. Stone, J. Ström, K. Tørseth, C. Wehrli, and K. E. Yttri, Pan-Arctic enhancements of light absorbing aerosol concentrations due to North American boreal forest fires during summer 2004, 111 *J. GEOPHYS. RES.* D22214, doi:10.1029/2006JD007216, 2006.
- ⁷³ Hansen, J., and L. Nazarenko, 2004: Soot climate forcing via snow and ice albedos. *Proc. Natl. Acad. Sci.*, **101**, 423-428, doi:10.1073/pnas.2237157100.
- ⁷⁴ Ramanathan Testimony, *supra* note 9, at 4.
- ⁷⁵ Jacobson Testimony, *supra* note 16, at 5.
- ⁷⁶ J. Hansen & L. Nazarenko, *supra* note 21, at 428.

⁷⁷ Jacobson Testimony, *supra* note 16, at 9.

⁷⁸ Jacobson offers an estimate of total U.S. CO₂ emissions in 2005 of 6270 metric tonnes, 26% of which is 1630. *Id.*

⁷⁹ Jacobson Testimony, *supra* note 16, at 9.

⁸⁰ Manufacturers of Emission Controls Association (MECA), “Emission Control Technologies for Diesel-Powered Vehicles,” 9 (December 2007) (“Diesel oxidation catalysts installed on a vehicle’s exhaust system can reduce total PM typically by as much as 25 to over 50 percent by mass, under some conditions depending on the composition of the PM being emitted”), available at: <http://www.meca.org/galleries/default-file/MECA%20Diesel%20White%20Paper%2012-07-07%20final.pdf>.

⁸¹ *Id.*, (“DPFs can achieve up to, and in some cases, greater than a 90 percent reduction in PM. High efficiency filters are extremely effective in controlling the carbon fraction of the particulate, the portion of the particulate that some health experts believe may be the PM component of greatest concern”).

⁸² *Id.*, at 5, (“Mobile source BC emissions are estimated at 234 Gg in 2001, representing 54 percent of the nationwide BC emissions of 436 Gg. Under Scenario F, mobile source emissions are projected to decline to 71 Gg, a reduction of 163 Gg.”)

⁸³ Bahner, Mark A., Weitz, Keith A., Zapata, Alexandra and DeAngelo, Benjamin, Use of Black Carbon and Organic Carbon Inventories for Projections and Mitigation Analysis,” 1, (2007) available at: <http://www.epa.gov/ttn/chief/conference/ei16/session3/k.weitz.pdf>.

⁸⁴ EPA, Heavy-Duty Highway Diesel Program, available at: <http://www.epa.gov/oms/highway-diesel/index.htm> (“Once this action is fully implemented...Soot or particulate matter will be reduced by 110,000 tons a year”); EPA, Clean Air Nonroad Diesel Rule—Facts and Figures, available at: <http://www.epa.gov/nonroad-diesel/2004fr/420f04037.htm> (“Environmental Benefits When the Fleet of Older Nonroad Engines Has Fully Turned Over by 2030: Annual reductions of Fine PM (PM_{2.5}): 129,000 tons”).

⁸⁵ Diesel Technology Forum, “Technology Definitions,” available at: <http://www.dieselforum.org/meet-clean-diesel/what-is-clean-diesel/new-technologies/>

⁸⁶ *Id.*

⁸⁷ Conor C. O. Reynolds & Milind Kandlikar, *Climate Impacts of Air Quality Policy: Switching to a Natural Gas-Fueled Public Transportation System in New Delhi*, ENVIRON. SCI. TECHNOL. (forthcoming 2008) (“When aerosol emissions are included, the switch to CNG fueling results in a climate benefit, largely because of the dramatic reduction of black carbon emissions from the diesel bus engines”). The fuel switching policy was implemented with the aid of the Indian Supreme Court. See Urvashi Narain and Ruth Greenspan Bell, *Who Changed Delhi’s Air? The Roles of the Court and the Executive in Environmental Policymaking*, Resources for the Future Discussion Paper 05-48 (December 2005) <http://www.rff.org/rff/documents/rff-dp-05-48.pdf> (“[T]he main role of the Supreme Court was to force the government to implement previously announced policies. ... [T]he Delhi experience for instituting change has become a model for other Indian cities as well as neighboring countries.”)

⁸⁸ Conor C. O. Reynolds & Milind Kandlikar, *Climate Impacts of Air Quality Policy: Switching to a Natural Gas-Fueled Public Transportation System in New Delhi*, ENVIRON. SCI. TECHNOL. (forthcoming 2008) (“However, when aerosol emissions are taken into account in our model, the net effect of the switch is estimated to be a 10% reduction in CO₂(e), and there may be as much as a 30% reduction in CO₂(e)”).

⁸⁹ *Id.*, at Section 3.1 (“In total there is about a 10% reduction of net CO₂(e) emissions, and if buses are considered separately, net CO₂(e) emissions are reduced by about 20%”).

⁹⁰ C. O. Reynolds & Milind Kandlikar, *Climate Impacts of Air Quality Policy: Switching to a Natural Gas-Fueled Public Transportation System in New Delhi*, 1, ENVIRON. SCI. TECHNOL. (forthcoming 2008).

⁹¹ Lack, D., B. Lerner, C. Granier, T. Baynard, E. Lovejoy, P. Massoli, A. R. Ravishankara, and E. Williams, Light absorbing carbon emissions from commercial shipping, , 35 Geophysical Res. Letters L13815 (2008).

⁹² That is, if particulate filters could be shown reduce BC emissions 90 percent from ships as they do for land vehicles, 120,000 metric tons of today’s 133,000 metric tons of emissions would be prevented.

⁹³ V. Ramanathan & G. Carmichael, *supra* note 5, at 226.

⁹⁴ V. Ramanathan & G. Carmichael, *id.*

⁹⁵ *Supra*, note 1 (citing C. A. Pope III and D. W. Dockery, *Epidemiology of particle effects*, in S. T. Holgate, *et al.*, eds., AIR POLLUTION AND HEALTH 673– 705 (1999) and statistics from the World Health Organization).

⁹⁶ See Mike Bergin, *The Influence of Aerosols on Plant Growth*, Day 4 of Air Pollution as a Climate Forcing: A Workshop (2002), available at http://www.giss.nasa.gov/meetings/pollution2002/d4_bergin.html.

⁹⁷ See <http://www.unep.org/pcfv/index.asp>.

⁹⁸ O. Boucher and M.S. Reddy, *Climate trade-off between black carbon and carbon dioxide emissions*, 36 ENERGY POLICY 193, 196-198 (2007) (Particulate traps on diesel engines reduce BC emissions and associated climate forcing but are partially offset by an increase in fuel consumption and CO₂ emissions. Where the fuel penalty is 2-3%, BC reductions will produce positive benefits for the climate for the first 28-68 years, assuming reduction in BC emission is 0.15-0.30 g/mile,

CO₂ emissions are 1500-2000 g/mile, and a 100-year GWP of 680 is used for BC. The net positive benefits for climate will continue for up to centuries in northern regions because of BC's effect on snow and ice albedo).

⁹⁹ See http://inece.org/climate/INECEClimateComplianceAlert_BlackCarbon.pdf.

¹⁰⁰ Mark Z. Jacobson, *Effects of Anthropogenic Aerosol Particles and Their Precursor Gases on California and South Coast Climate*, California Energy Commission, 6 (Nov. 2004), available at <http://www.stanford.edu/group/efmh/jacobson/CEC-500-2005-003.PDF> (BC's semi-direct effect occurs when "solar absorption by a low cloud increases stability below the cloud, reducing vertical mixing of moisture to the cloud base, thinning the cloud.").

¹⁰¹ *Carbon's Other Warming Role*, GEOTIMES (May 2001), available at <http://www.geotimes.org/mar01/warming.html> (BC produces "dirty cloud droplets, causing an "indirect" impact that reduces a cloud's reflective properties.").

¹⁰² IPCC, *supra* note 4 at 163-64, and 185 (2007) (estimating the direct radiative forcing of BC at $0.2 \text{ W/m}^2 + 0.15$ and the indirect effect of BC on snow and ice surface albedo at $0.1 \text{ W/m}^2 + 0.1$).

¹⁰³ Mark Z. Jacobson, *Strong Radiative Heating Due to the Mixing State of Black Carbon in Atmospheric Aerosols*, NATURE, 409, 695-697 (2001) ("The final yearly averaged direct forcing due to BC in the external mixture, the multiple-distribution coated-core, and the single internally-mixed, coated-core distribution cases from Fig. 3 were 0.31, 0.55 and 0.62 W m^{-2} , respectively. The multiple-distribution BC direct forcing (0.55) falls between direct-forcing estimates for CH₄ (0.47 W/m^2) and CO₂ (1.56 W/m^2) from IPCC [2001].").

¹⁰⁴ Mark Z. Jacobson, *Climate response of fossil fuel and biofuel soot, accounting for soot's feedback to snow and sea ice albedo and emissivity*, 109 J. GEOPHYS. RES. D21201 (2004). (Dirty Clouds Effect of $.03 \text{ W m}^{-2}$).

¹⁰⁵ Mark Z. Jacobson, *Effects of Externally-Through-Internally-Mixed Soot Inclusions within Clouds and Precipitation on Global Climate*, 110 J. PHYS. CHEM. A. 6860-6873 (2006). (Snow/Ice Albedo Effect of $.06 \text{ W m}^{-2}$).

¹⁰⁶ This figure has been obtained by adding Jacobson's estimates for BC's direct and indirect forcings. See *supra*, notes 77-79 and accompanying text.

¹⁰⁷ James E. Hansen and Makiko Sato, Figure 1 in *Trends of Measures Climate Forcing Agents*, 98 PROC. OF THE NAT'L ACAD. OF SCI. 14778, 14779 (2001). (Hansen 2001 estimate – Direct Forcing – 0.6 W/m^2 Total forcing – $0.8 \pm 0.4 \text{ W/m}^2$); J. Hansen, *supra* note 12, at 435 (Hansen 2002 estimate – "My present estimate for global climate forcings caused by BC is: (1) $0.4 \pm 0.2 \text{ W/m}^2$ direct effect, (2) $0.3 \pm 0.3 \text{ W/m}^2$ semi-direct effect (reduction of low level clouds due to BC heating; Hansen et al., 1997), (3) $0.1 \pm 0.05 \text{ W/m}^2$ 'dirty clouds' due to BC droplet nuclei, (4) $0.2 \pm 0.1 \text{ W/m}^2$ snow and ice darkening due to BC deposition. ... The uncertainty estimates are subjective. The net BC forcing implied is $1 + 0.5 \text{ W/m}^2$ "); J. Hansen, et al., *Climate Change and Trace Gases*, 365 PHIL. TRANS. R. SOC. 1925, 1942 (2007) (Hansen 2007 estimate – "Soot from fossil fuel burning, i.e. highly absorbing aerosols that contain black carbon (BC) and organic carbon (OC), are estimated to cause a global climate forcing of 0.22 W m^{-2} . This is a conservative estimate for fossil fuel BC forcing . . . because it assumes a high OC/BC ratio for fossil fuel emissions. In addition, it assigns 50% of the aerosol indirect effect (which causes cooling) to soot (BC/OC).").

¹⁰⁸ J. Hansen, *supra* note 21, at 435.

¹⁰⁹ *Id.*

¹¹⁰ *Id.*

¹¹¹ James E. Hansen and Makiko Sato, Figure 1 in *Trends of Measures Climate Forcing Agents*, 98 PROC. OF THE NAT'L ACAD. OF SCI. 14778, 14779 (2001). (Hansen 2001 estimate – Direct Forcing – 0.6 W m^{-2} , Total forcing – $0.8 + 0.4 \text{ W m}^{-2}$); J. Hansen, *supra* note 12, at 435 (Hansen 2002 estimate – "My present estimate for global climate forcings caused by BC is: (1) $0.4 \pm 0.2 \text{ W/m}^2$ direct effect, (2) $0.3 \pm 0.3 \text{ W/m}^2$ semi-direct effect (reduction of low level clouds due to BC heating; Hansen et al., 1997), (3) $0.1 \pm 0.05 \text{ W/m}^2$ 'dirty clouds' due to BC droplet nuclei, (4) $0.2 \pm 0.1 \text{ W/m}^2$ snow and ice darkening due to BC deposition. ... The uncertainty estimates are subjective. The net BC forcing implied is $1 + 0.5 \text{ W/m}^2$ "); Makiko Sato, James Hansen, Dorthy Koch, Andrew Lacis, Reto Ruedy, Oleg Dubovik, Brent Holben, Mian Chin, and Tica Novakov, *Global Atmospheric Black Carbon Inferred from AERONET*, 100 PROC. OF THE NAT'L ACAD. OF SCI. 6319, at 6323 (2003) (... we estimate the anthropogenic BC forcing as $\approx 0.7 \pm 0.2 \text{ W/m}^2$ "); J. Hansen, et al., *Climate Change and Trace Gases*, 365 PHIL. TRANS. R. SOC. 1925, 1942 (2007) (Hansen 2007 estimate – "Soot from fossil fuel burning, i.e. highly absorbing aerosols that contain black carbon (BC) and organic carbon (OC), are estimated to cause a global climate forcing of 0.22 W m^{-2} . This is a conservative estimate for fossil fuel BC forcing . . . because it assumes a high OC/BC ratio for fossil fuel emissions. In addition, it assigns 50% of the aerosol indirect effect (which causes cooling) to soot (BC/OC).").

¹¹² J. Hansen & L. Nazarenko, *supra* note 21, 426 ("the effective forcing for the assigned snow albedo change in the most realistic cases 1 and 2 is $F_e \sim 0.6 \text{ W/m}^2$ in the Northern Hemisphere or $F_e \sim 0/3 \text{ W/m}^2$ globally").

¹¹³ *Id.*, at 425 (The "climate forcing due to snow/ice albedo change is of the order of 1 W/m^2 at middle- and high-latitude land areas in the Northern Hemisphere and over the Arctic Ocean").

¹¹⁴ Ramanathan Testimony, *supra* note 9.

¹¹⁵ IPCC, *supra* note 4.

¹¹⁶ J. Hansen, *et al.*, *Efficacy of Climate Forcing*, *supra* note 31.