

## ***La reducción del carbono negro podría ser la estrategia más rápida para mitigar el cambio climático***

**IGSD/INECE Nota de resumen sobre el clima: 29 de agosto de 2008\***

### **El carbono Negro es un agente de presión climática potente y una meta clave para la mitigación climática**

La reducción del carbono negro podría representar la mayor promesa de mitigación climática inmediata. El carbono negro es un agente de presión climática potente; se lo considera el segundo mayor contribuyente al calentamiento global después del dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>). Debido a que el carbono negro se mantiene en la atmósfera por sólo algunas semanas, el reducir las emisiones de carbono negro podría ser la forma más rápida de mitigar el cambio climático en el corto plazo.<sup>1</sup>

El tratar el tema del carbono negro ahora puede ayudar a retrasar la posibilidad de traspasar los umbrales o “puntos de rebalse” de cambio climático abrupto e irreversible,<sup>2</sup> los cuales podrían presentarse en tan sólo diez años y tener impactos potencialmente catastróficos.<sup>3</sup> Además puede dar tiempo valioso a quienes elaboran las políticas para tratar el tema de emisiones de CO<sub>2</sub> en los plazos mediano y largo.

Las estimaciones de la presión climática a consecuencia del carbono negro (combinando las presiones tanto directas como indirectas) varían de la estimación del IPCC de + 0,3 vatios por metro cuadrado (W/m<sup>2</sup>) ± 0,25,<sup>4</sup> a la estimación más reciente de 0,9 W/m<sup>2</sup> (ver Tabla 1), que es “tan alto como el 55% de la presión de CO<sub>2</sub> y es mayor que la presión que producen gases de efecto invernadero como ser el CH<sub>4</sub>, el CFCs, el N<sub>2</sub>O, o el ozono de la troposfera”.<sup>5</sup>

En algunas regiones, como ser el Himalaya, el impacto del carbono negro sobre la capa de nieve y los glaciares en proceso de descongelamiento podría ser igual al del CO<sub>2</sub>.<sup>6</sup> Las emisiones de carbono negro contribuyen también de manera considerable al descongelamiento del hielo del Ártico, lo cual es crítico, ya que “nada en el clima mundial evoca de manera más precisa el ‘punto de rebalse’ que la frontera de 0° C que separa el agua congelada de aquella en forma líquida: el hielo y la nieve brillantes, con reflejo, del océano oscuro que absorbe el calor”<sup>7</sup> Por lo tanto, la reducción de estas emisiones puede ser “la forma más efectiva de mitigar el calentamiento del Ártico que se conoce”.<sup>8</sup>

Desde 1950 muchos países han reducido de manera considerable sus emisiones de carbono negro, particularmente de fuentes de combustibles fósiles, principalmente para mejorar la salud pública; “la tecnología ya existe para poder lograr una reducción drástica de carbono negro relacionado con el uso de combustibles fósiles” a través del mundo.<sup>9</sup> El asegurar la adhesión y el cumplimiento de leyes nacionales existentes que tratan emisiones de carbono negro puede proporcionar cierto alivio, pero se requiere de nuevas leyes y reglamentos, además de alianzas voluntarias en todo nivel para lograr reducciones mayores y más rápidas, particularmente en vista de que las emisiones están aumentando a nivel global.<sup>10</sup>

### **La reducción del carbono negro puede ser la forma más rápida de mitigar el calentamiento global**

En su informe del año 2007, el IPCC estimó por primera vez la presión radiativa directa del carbono negro de emisiones de combustibles fósiles en  $+ 0,2 \text{ W/m}^2$  y la presión radiativa de carbono negro mediante su efecto sobre el albedo de superficie de nieve y hielo en  $+ 0.1 \text{ W/m}^2$  adicionales.<sup>11</sup> Otros estudios y testimonios públicos por parte de muchos de los mismos científicos citados en el informe del IPCC estiman que las emisiones de carbono negro son el segundo mayor contribuyente al calentamiento global después de las emisiones de dióxido de carbono, y que el reducir estas emisiones podría ser la forma más rápida de mitigar el cambio climático.<sup>12</sup>

El carbono negro es el componente altamente absorbente de aerosoles carbónicos que le da el color negro al hollín.<sup>13</sup> El carbono negro se forma a través de la combustión incompleta de combustibles fósiles, biocombustibles y biomasa, y se emite tanto en hollín antrópico como en hollín que se presenta naturalmente. El carbono negro caliente al planeta mediante la absorción de la radiación solar y su liberación en la atmósfera, y mediante la reducción del albedo de la capacidad de reflejar la luz solar cuando es depositada en la nieve y el hielo. El carbono negro se mantiene en la atmósfera entre varios días y semanas, mientras que el  $\text{CO}_2$  tiene una vida atmosférica de más de 100 años.<sup>14</sup>

Dada la vida relativamente corta del carbono negro, la reducción de sus emisiones reduciría el calentamiento en algunas semanas. El control del carbono negro, “particularmente de fuentes de combustibles fósiles, probablemente sea el método más rápido de mitigar el calentamiento global” en el futuro inmediato, según el doctor Mark Jacobson de la Universidad Stanford. Él considera que grandes cortes en emisiones de carbono negro podrían disminuir los efectos del cambio climático durante una o dos décadas,<sup>15</sup> logrando más tiempo para que quienes forjan las políticas puedan ver la forma de reducir emisiones de  $\text{CO}_2$ .<sup>16</sup> La reducción de emisiones de carbono negro podría ayudar a hacer que el sistema climático no sobrepase el “punto de rebalse” de cambios climáticos abruptos, incluyendo un aumento considerable en el nivel del mar como consecuencia de la desintegración de las capas de hielo de Groenlandia o la Antártica.<sup>17</sup>

“[L]as emisiones de carbono negro son el segundo mayor contribuyente hacia el actual calentamiento global después de las emisiones de dióxido de carbono”, según los doctores V. Ramanathan y G. Carmichael.<sup>18</sup> Ellos calculan que la presión climática directa del carbono negro de  $0,9 \text{ W/m}^2$ , que es de hasta el 55% de la presión del  $\text{CO}_2$  y es mayor que la presión atribuible a otros gases de efecto invernadero como ser el  $\text{CH}_4$ , el CFCs, el  $\text{N}_2\text{O}$  o el ozono de la troposfera”.<sup>19</sup> Otros científicos estiman que la presión directa del carbono negro es de entre  $0,2$  y  $0,6 \text{ W/m}^2$  con distintos rangos debido a incertidumbres (ver Tabla 1). Esto se compara con las estimaciones de presión climática del IPCC de  $1,66 \text{ W/m}^2$  para el  $\text{CO}_2$  y  $0,48 \text{ W/m}^2$  para el  $\text{CH}_4$ <sup>20</sup> (ver Tabla 2) y no incluye los efectos críticos indirectos del carbono negro sobre el albedo nieve/hielo. Estos efectos hacen que la presión del carbono negro sea de entre dos y tres veces lo efectivo en aumentar las temperaturas en el hemisferio norte y en el Ártico que los valores de presión equivalentes de  $\text{CO}_2$ .<sup>21</sup>

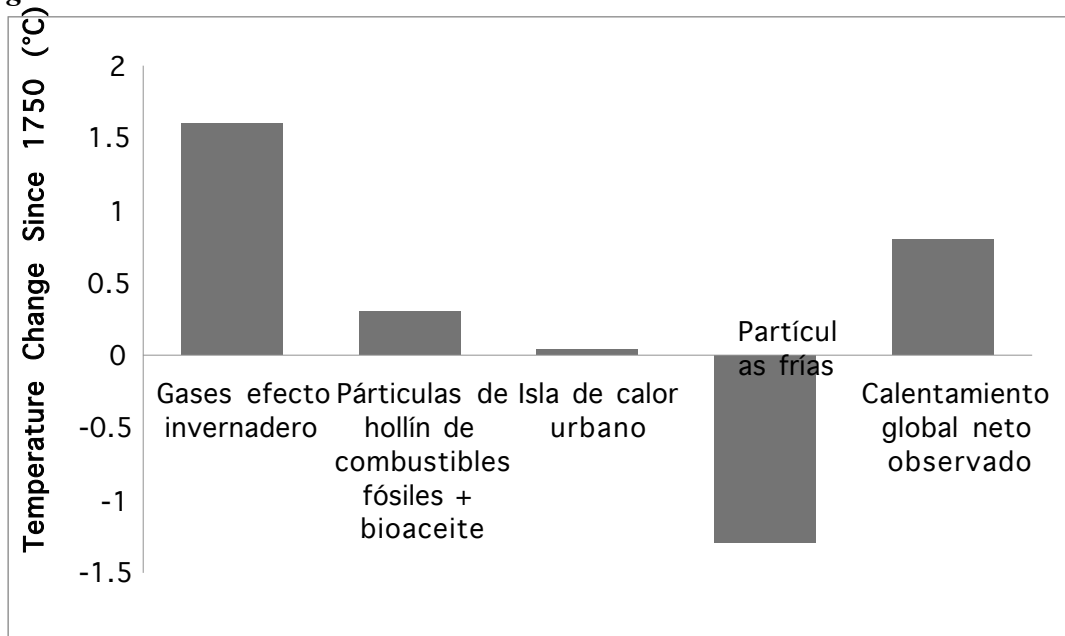
Jacobson calcula que la reducción de partículas de combustibles fósiles y de biocombustibles eliminaría aproximadamente el 40% del calentamiento global neto que se observa.<sup>22</sup> (ver Figura 1) Además de carbono negro, el hollín de los combustibles fósiles y de los biocombustibles contiene aerosoles y materia de partículas que enfrían el planeta al reflejar la radiación del sol en otra dirección que la de la Tierra.<sup>23</sup> Cuando se toma en cuenta los aerosoles, los combustibles fósiles y el bioaciete están aumentando las temperaturas en alrededor  $0,35^\circ\text{C}$ .<sup>24</sup>

El carbono negro sólo podría tener un potencial de calentamiento global (GWP) tan alto como 4.470 y un GWP de 100 años de entre 1.055 y 2.240.<sup>25</sup> Como consecuencia de mezclarse con aerosoles

enfriadores y materia de partículas, el carbono negro tiene un GWP de 20 años de 2.530 y un GWP de 100 años de entre 840 y 1.280.<sup>26</sup>

A lo largo del siglo sin embargo, se espera que la cantidad de estos aerosoles enfriadores en la atmósfera disminuya, en gran parte como consecuencia de reducciones en emisiones de dióxido de azufre. Estas reducciones revelarán a otros agentes de calentamiento, como ser carbono negro, cuya presencia es actualmente compensada por estos aerosoles enfriadores. Al mismo tiempo, bajo el escenario A1B del IPCC, se espera que las emisiones de carbono negro se dupliquen, incrementando aún más su efecto de calentamiento.<sup>27</sup> Por lo tanto, el tratar el tema del carbono negro es esencial tanto para prevenir calentamiento adicional atribuible a mayores emisiones de carbono negro, como de lograr la mitigación deseada con reducciones esperadas en aerosoles enfriadores que actualmente disimulan los efectos del carbono negro.<sup>28</sup>

**Figura 1**<sup>29</sup>



*Las contribuciones primarias al calentamiento global observado desde 1750 al presente de los cálculos del modelo global. La estimación de hollín de combustibles fósiles y biocombustibles toma en cuenta el efecto del hollín sobre el albedo de nieve y hielo, además de partículas de enfriamiento y materia de partículas producida por el carbono negro.*

### **El carbono negro está acelerando el calentamiento del hielo del mar del Ártico y de los glaciares del Himalaya**

Según el IPCC, “la presencia de carbono negro encima de superficies de alto reflejo, como ser la nieve y el hielo, o nubes, puede causar una presión radioactiva positiva considerable”.<sup>30</sup> El IPCC también observa que emisiones de la quema de biomasa, que normalmente tienen una presión negativa,<sup>31</sup> tienen una presión positiva encima de campos de nieve en áreas como ser el Himalaya.<sup>32</sup>

El carbono negro contribuye de manera considerable a que se derrita el hielo del Ártico, y la reducción de estas emisiones “puede ser la forma más eficiente de mitigar el calentamiento del Ártico que se conozca”, según el doctor Charles Zender de la Universidad de California, Irvine.<sup>33</sup> “La presión climática consecuencia del cambio del albedo de nieve/hielo es de alrededor de 1,0 W/m<sup>2</sup> en áreas de tierra de mediana y alta latitud en el hemisferio norte y encima del océano del Ártico”.<sup>34</sup> “El efecto del hollín sobre el albedo de nieve podría ser el responsable de una cuarta parte del calentamiento global que se observa”.<sup>35</sup> “Los depósitos de hollín incrementan el descongelamiento de la superficie de masas de hielo, y el hielo descongelado genera varios procesos de retroalimentación dinámicos radiativos que aceleran la desintegración del hielo”, según los doctores James Hansen y Larissa Nazarenko, científicos de la NASA.<sup>36</sup> Como consecuencia de este proceso de retroalimentación, “el carbono negro sobre la nieve calienta el planeta aproximadamente tres veces más que una presión similar de CO<sub>2</sub>”.<sup>37</sup> Cuando concentraciones de carbono negro en el Ártico aumentan durante el invierno y la primavera debido a la bruma del Ártico, las temperaturas de la superficie aumentan en 0,5°C.<sup>38</sup>

Las emisiones del norte de Eurasia, Norteamérica y Asia tienen el impacto absoluto mayor sobre el calentamiento del Ártico.<sup>39</sup> Sin embargo, las emisiones de carbono negro que en realidad ocurren dentro del Ártico tienen un impacto desproporcionadamente mayor por partícula sobre el calentamiento del Ártico que las emisiones que tienen su origen en otros lugares.<sup>40</sup> Se espera que las emisiones que tienen su origen en el Ártico aumenten a medida que el hielo del Ártico se derrite y aumenta la actividad de transporte por mar.<sup>41</sup>

En algunas regiones como ser el Himalaya, el impacto del carbono negro sobre capas de nieve y glaciares que se están descongelando puede ser igual al del CO<sub>2</sub>.<sup>42</sup> El aire más tibio a consecuencia de la presencia de carbono negro en el sur y el este de Asia encima del Himalaya contribuye al calentamiento en aproximadamente 0,6°C.<sup>43</sup> Un “análisis de tendencias de temperatura en el lado tibetano del Himalaya revela calentamiento mayor a 1°C desde los años ’50”.<sup>44</sup> Esta gran tendencia de calentamiento es considerada el factor causal del descongelamiento acelerado de los glaciares del Himalaya<sup>45</sup>, lo cual amenaza la disponibilidad de agua fresca y la seguridad alimentaria en la China y la India.<sup>46</sup>

### **Mayores productores de carbono negro**

*Por región:* Los países desarrollados fueron en un momento dado la fuente primaria de emisiones de carbono negro, pero esto comenzó a cambiar en los años ’50 con la adopción de tecnologías de control de contaminación en estos países.<sup>47</sup> Mientras que Estados Unidos emite aproximadamente el 21% del CO<sub>2</sub> del mundo, emite el 6,1% del hollín del mundo.<sup>48</sup> EEUU y la Unión Europea podrían reducir aún más sus emisiones de carbono negro acelerando la implementación de reglamentos de carbono negro que actualmente entran en vigor en 2015 ó 2020<sup>49</sup> y apoyando la adopción de reglamentos de la Organización Marítima Internacional que han quedado pendientes.<sup>50</sup> Los reglamentos actuales también podrían ser ampliados para incrementar el uso de tecnologías limpias de diesel y de carbón para desarrollar tecnologías de segunda generación.

Actualmente la mayor parte de las emisiones de carbono negro vienen de países en vías de desarrollo<sup>51</sup> y se espera que esta tendencia aumente.<sup>52</sup> Las mayores fuentes de carbono negro son Asia, Latinoamérica y África.<sup>53</sup> La China y la India representan entre el 25 y el 35% de las emisiones globales de carbono negro.<sup>54</sup> Las emisiones de carbono negro de la China se duplicaron entre los años 2000 y 2006.<sup>55</sup> Tecnologías existentes y bien probadas empleadas por países desarrollados, como ser diesel y carbón limpios, podrían ser transferidos a países en vías de desarrollo para reducir sus emisiones.<sup>56</sup>

Las emisiones de carbono negro “tienen su pico cerca de regiones de origen mayores y dan lugar a puntos calientes regionales de calentamiento solar atmosférico inducido por el carbono negro”.<sup>57</sup> Estos puntos calientes incluyen “las planicies indo-Ganges en el sureste de Asia; el este de la China; la mayor parte del Asia del sureste incluyendo Indonesia; regiones del África entre el África sub sahariano y Sudáfrica; México y Centroamérica; y la mayor parte de Brasil y Perú en Sudamérica”.<sup>58</sup> Aproximadamente tres mil millones de personas viven en estos puntos calientes.<sup>59</sup>

*Por fuente:* Aproximadamente el 20% del carbono negro es emitido por la quema de biocombustibles, el 40% de combustibles fósiles y el 40% de quema de biomasa al aire libre, según Ramanathan.<sup>60</sup> Similarmente, la doctora Tami Bond de la Universidad de Illinois, Urbana Champaign, estima las fuentes de emisiones de carbono negro como sigue:<sup>61</sup>

42%	quema de biomasa al aire libre (quema de bosques y sabanas)
18%	biocombustible residencial quemado con tecnologías tradicionales
14%	motores a diesel para el transporte
10%	motores a diesel para la industria
10%	procesos industriales y generación de energía, normalmente de calderas pequeñas
6.0%	carbón residencial quemado con tecnologías tradicionales <sup>62</sup>

Las fuentes del carbono negro varían por región. Por ejemplo, la mayor parte de las emisiones de hollín en el sureste de Asia son atribuibles a cocinar con biocombustibles, mientras que en el este de Asia, la combustión de carbón en usos residenciales e industriales juega un gran papel.

El hollín de combustibles fósiles y biocombustibles tienen cantidades considerablemente mayores de carbono negro que aerosoles y materia de partículas de enfriamiento climático, haciendo que las reducciones de estas fuentes representen poderosas estrategias de mitigación. Por ejemplo, las emisiones de motores a diesel y naves contienen niveles mayores de carbono negro en comparación con otras fuentes. <sup>63</sup> El regular las emisiones de carbono negro de motores a diesel y buques representa por lo tanto una gran oportunidad de reducir el impacto del calentamiento global del carbono negro. <sup>64</sup>

La quema de biomasa emite mayores cantidades de aerosoles y materia de partículas que enfrían el clima que el carbono negro, lo cual da lugar a enfriamiento de corto plazo. <sup>65</sup> Sin embargo, en el largo plazo, la quema de biomasa puede causar un calentamiento neto cuando se toman en cuenta las emisiones de CO<sub>2</sub> y de la deforestación. <sup>66</sup> El reducir las emisiones de biomasa reduciría por lo tanto el calentamiento global en el largo plazo y proporcionaría co beneficios de menos contaminación del aire, emisiones de CO<sub>2</sub> y deforestación. Johannes Lehmann de la Universidad Cornell estima que al cambiar de agricultura “tala y quema” a agricultura de “tala y car”, lo cual transforma la biomasa en ceniza utilizando fuego al aire libre que emite carbono <sup>67</sup> y gases de efecto invernadero <sup>68</sup>, se podrían reducir el 12% de las emisiones de carbono antrópicas causadas por uso de la tierra, cada año <sup>69</sup>, lo que representa aproximadamente 0,66 Gt CO<sub>2</sub>-eq. por año, o el 2% de todas las emisiones anuales globales CO<sub>2</sub>-eq. <sup>70</sup>

*Por estación:* La magnitud de la presión y la respuesta de la temperatura al carbono negro puede estar en función de las estaciones, particularmente en el Ártico, donde la magnitud y el mecanismo del impacto climático se encuentra controlado por la relación del transporte, la presencia del sol, el descongelamiento nieve/hielo y el depósito. En el invierno y a principios de la primavera, la combinación del transporte eficaz de contaminantes de las latitudes medias al Ártico y la remoción atmosférica limitada dan lugar a mayores concentraciones de contaminantes. <sup>71</sup> También puede haber mayores concentraciones en el verano, cuando las emisiones de incendios de bosques boreales alcanzan el Ártico. <sup>72</sup>

El depósito de carbono negro en superficies nieve/hielo con alto reflejo disminuye la reflexión de la superficie y da lugar a una presión positiva de la superficie. La presión que mayor inquietud genera tiene lugar a principios de la primavera, cuando puede acelerarse el descongelamiento de la capa de hielo primaveral. <sup>73</sup>

**La tecnología que se requiere para la reducción del carbono negro ya está disponible**

Ramanathan observa que “los países desarrollados han reducido sus emisiones de carbono negro causadas por combustibles fósiles por un factor de 5 o más desde 1950. Por lo tanto, existe la tecnología para una drástica reducción del carbono negro relacionado con los combustibles fósiles”.<sup>74</sup>

Jacobson considera que “[d]adas las condiciones y los incentivos apropiados, las tecnologías contaminantes [a consecuencia del hollín] pueden ser desfasadas rápidamente. En algunas aplicaciones de pequeña escala (como ser la cocina doméstica en países en vías de desarrollo), la salud y la comodidad darán lugar a tal transición cuando estén disponibles alternativas al alcance del bolsillo y confiables. Otras fuentes, como ser vehículos o calderos de carbón pueden requerir de enfoques regulatorios para alentar ya sea la transición hacia tecnologías existentes o el desarrollo de nuevas tecnologías”.<sup>75</sup>

Hansen enuncia que “Está al alcance la tecnología que podría reducir de gran manera el hollín, restaurando el albedo de la nieve a niveles prácticamente límpidos, generando al mismo tiempo varios otros beneficios para el clima, la salud humana, la productividad agrícola y la estética del medioambiente. Ya están disminuyendo las emisiones de carbón en varias regiones mediante la transición de pequeños usuarios a plantas de energía con cepilladores”.<sup>76</sup>

Jacobson sugiere convertir “vehículos [de EEUU] de combustibles fósiles a vehículos eléctricos, de enchufe híbrido o de células de combustible hidrógeno en lugares en los que el hidrógeno es producido por una fuente renovable de energía, como ser del viento, solar, geotérmica, hidroeléctrica, de olas o de la marea. Tal cambio eliminaría 160 Gg/yr (el 24%) del hollín de combustibles fósiles de EEUU (ó el 1,5% del hollín de combustibles fósiles del mundo) y aproximadamente el 26% del dióxido de carbono de EEUU (ó el 5,5% del dióxido de carbono del mundo)”<sup>77</sup> Según los cálculos de Jacobson, esta propuesta reduciría las emisiones de hollín y CO<sub>2</sub> en 1,63 GtCO<sub>2</sub>-eq. por año.<sup>78</sup> Observa sin embargo que “la eliminación de hidrocarburos y óxidos de nitrógeno también eliminaría algunas partículas de enfriamiento, reduciendo el beneficio neto en a lo mucho la mitad, pero mejorando la salud humana”, representando una reducción considerable con una sola política en un sólo país.<sup>79</sup>

Para vehículos a diesel existen varias tecnologías efectivas disponibles. Los catalizadores de oxidación de diesel han sido utilizados por más de 30 años, pueden ser utilizados en casi cualquier vehículo a diesel, y pueden eliminar entre el 25 y el 50% de todas las emisiones de partículas.<sup>80</sup> Filtros más nuevos y eficientes de partículas de diesel (DPFs), o trampas, pueden eliminar más del 90% de las emisiones de carbono negro,<sup>81</sup> pero estos equipos requieren de combustible diesel ultra bajo en azufre (ULSD). Para asegurar el cumplimiento de nuevas reglas sobre partículas para nuevos vehículos para caminos y para el campo en EEUU, la EPA en primera instancia exigió un cambio en todo el país a ULSD, lo cual permitió que se utilizaran DPFs en vehículos con el fin de alcanzar los estándares.

Debido a regulaciones recientes de la EPA, se espera que las emisiones de carbono negro de vehículos disminuyan en aproximadamente el 70% entre 2001 y 2020.<sup>82</sup> En general, “se estima que las emisiones de carbono negro en EEUU disminuyan en 42% entre el año 2001 y 2020”.<sup>83</sup> La EPA estima que cuando la flota vehicular completa esté sujeta a estas reglas se reducirán anualmente más de 239.000 toneladas de materia de partículas anualmente.<sup>84</sup> Fuera de EEUU a menudo hay catalizadores de oxidación de diesel disponibles y los DPFs estarán disponibles a medida que se comercializa más el ULSD. Además, un tipo de filtro más nuevo, conocido como filtro parcial o de flujo, no atrapa las partículas, sino que las oxida empleando un camino de flujo tortuoso con catalizadores.<sup>85</sup> Estos filtros se están haciendo más populares ya que no requieren de ULSD y pueden eliminar entre el 40 y el 70% de las partículas.<sup>86</sup>

Otra tecnología para reducir las emisiones de carbono negro de motores a diesel es cambiar de combustibles a gas natural comprimido. En Nueva Delhi, un cambio ordenado por la corte a gas natural comprimido para todos los vehículos de transporte público, incluyendo buses, taxis y *rickshaws*, dio lugar a un beneficio climático, “en gran medida a causa de la dramática reducción de emisiones de carbono negro de los motores a diesel de los buses”.<sup>87</sup> En general, el cambio de combustible de los vehículos redujo emisiones de carbono negro lo suficiente como para generar una reducción del 10% en CO<sub>2</sub>-eq. y posiblemente hasta el 30%.<sup>88</sup> Los principales beneficios fueron de motores a diesel de buses cuyas emisiones de CO<sub>2</sub>-eq. se redujeron en un 20%.<sup>89</sup> Según un estudio que examina estas reducciones de emisiones, “existe un potencial considerable para reducciones de emisiones mediante el Desarrollo Limpio de [UNFCCC] para tales proyectos de cambio de combustible”.<sup>90</sup>

También se están desarrollando tecnologías para reducir una parte de las 133.000 toneladas métricas de materia de partículas emitida cada año por buques.<sup>91</sup> Los barcos oceánicos utilizan motores a diesel, y filtros de partículas similares a aquellos que se utilizan para vehículos de tierra están siendo actualmente probados con buques. Así como los filtros de partículas actuales, estos también requerirían que los barcos utilicen ULSD, pero si se logran emisiones comparables, hasta 120.000 toneladas métricas de emisiones de partículas podrían ser eliminadas cada año de los buques en el nivel internacional.<sup>92</sup> Otros esfuerzos pueden reducir la cantidad de emisiones de carbono negro de buques simplemente disminuyendo la cantidad de combustible que emplean los barcos. Al viajar a menores velocidades o utilizando electricidad de la costa cuando están en puerto en lugar de hacer correr los motores a diesel, los barcos pueden ahorrar combustible y reducir sus emisiones.

Ramanathan estima que “proveer cocinas alternativas eficientes en cuanto a energía e introduciendo tecnología para reducir las emisiones de hollín de la combustión de carbón en pequeñas industrias podría tener impactos mayores sobre la presión radiativa atribuible al hollín”.<sup>93</sup> En particular, el impacto del reemplazar cocinas con biocombustibles con equipos de cocina libres de carbono negro (solar, bio y gas natural) en el sur y el este del Asia es dramático: encima del sur de Asia, una reducción de entre el 70 y el 80% en calentamiento de carbono negro; y en el este de Asia, una reducción de entre el 20 y el 40%”.<sup>94</sup>

### **La reducción del carbono negro proporciona grandes co beneficios para la salud pública y la seguridad alimentaria**

El reducir las emisiones de carbono negro proporciona grandes co beneficios para la salud pública con el potencial de salvar hasta tres millones de vidas al año que de otra forma se perderían como consecuencia de la contaminación del aire (tanto adentro como afuera).<sup>95</sup> También proporciona mayores co beneficios para la agricultura al reducir el impacto dañino del carbono negro en plantas, mejorando así la productividad agrícola.<sup>96</sup>

### **Se requiere de esfuerzos nuevos y más fuertes para tratar el tema del carbono negro**

Se requiere de esfuerzos nuevos y más fuertes para tratar el tema del carbono negro en todo nivel, desde el local al internacional. Una lista inicial de las opciones en los niveles internacional y regional incluye:

- desarrollar un tratado bajo la UNEP



- ampliar el tratado de clima de la ONU post 2012
- desarrollar un acuerdo regional bajo el Consejo del Ártico
- determinar áreas particulares protegidas para restringir el tráfico de buques en el Ártico y en otras áreas que son sensibles al cambio en el albedo como consecuencia del carbono negro
- ampliar y fortalecer los controles sobre el tráfico marino bajo la Organización Internacional Marítima
- ampliar y fortalecer los controles de la aviación bajo la Organización Internacional de Aviación Civil
- ampliar y fortalecer los controles sobre fuentes estacionarias y móviles bajo la Convención de Contaminación del Aire Trans Fronteras de Largo Alcance

Construyendo sobre las leyes nacionales existentes enumeradas a continuación en la discusión sobre la adhesión, existen varias opciones en los niveles nacional y local para desarrollar leyes nuevas y más exigentes para tratar el tema del carbono negro. Estas leyes pueden ser perseguidas por grupos parlamentarios como ser GLOBE, así como por entidades nacionales que formulan leyes. Además, existen otros procesos de políticas que pueden ser utilizados para tratar el tema del carbono negro de manera inmediata, que incluyen:

- utilizar el Fondo de Inversión Climática del Banco Mundial para ayudar a reducir el carbono negro
- enfatizar los beneficios climáticos y otras sinergias de la reducción del carbono negro con los esfuerzos de la Organización Mundial de la Salud de reducir la contaminación del aire en interiores y mejorar la salud de mujeres y niños
- enfatizar la importancia del carbono negro para lograr las Metas de Desarrollo del Milenio
- perseguir y hacer notar los beneficios de la reducción del carbono negro en los esfuerzos de la Cumbre Mundial para el Desarrollo Sostenible (WSSD) por proporcionar acceso a recursos de energía limpia a los pobres

Un resultado importante de la WSSD fue la Alianza para Vehículos y Combustibles Limpios de la UNEP, que ha facilitado la transición a combustibles sin plomo, y ahora se está enfocando en la ampliación de la disponibilidad de combustible ULSD.<sup>97</sup> Este combustible no sólo disminuye las emisiones de azufre, lo cual genera menos contaminación general del aire, sino que también permite que se empleen las tecnologías de control de emisiones de partículas más efectivas.

### **La mejora de la adhesión y el cumplimiento con leyes existentes reducirá el carbono negro**

Muchos países poseen leyes nacionales que pueden ser utilizadas para comenzar a regular las emisiones de carbono negro, incluyendo leyes que tratan emisiones de partículas; algunos ejemplos son:

- prohibir o regular la “tala y quema” de bosques y sabanas
- exigir energía/electrificación basada en la costa para buques en puertos, regulando el tiempo de espera en terminales y obligando estándares de combustibles para barcos que pretenden anclar en puerto
- exigir pruebas de emisiones vehiculares regulares, el retiro de vehículos o la añadidura de equipos (como ser añadir trampas de partículas)<sup>98</sup>, incluyendo penalidades por no lograr alcanzar estándares de emisiones de calidad de aire y mayores penalidades para vehículos “súper emisores” en caminos

- prohibir o regular la venta de ciertos combustibles y/o exigir el uso de combustibles más limpios para ciertos usos
- limitar el uso de chimeneas y otras formas de quema de biomasa en áreas urbanas y no urbanas
- exigir permisos para operar instalaciones industriales, generadores de energía y de refinación de petróleo y la renovación periódica de permisos y/o la modificación de equipo

y

- exigir tecnología de filtración y combustión de alta temperatura (por ejemplo, carbón súper crítico) para plantas de generación eléctrica existentes y regular las emisiones anuales de plantas de generación eléctrica

El asegurar el cumplimiento de leyes nacionales existentes relacionadas, junto con asistencia de adhesión apropiada promoverá la mitigación climática en el plazo cercano, además de generar grandes co beneficios. La Red Internacional de la Adhesión y el Cumplimiento Medioambiental emitió recientemente *Alerta de cumplimiento climático de carbono negro*.<sup>99</sup>

**Tabla 1: Estimaciones de presiones de carbono negro (radiativas) por efecto**

Fuente	Presiones radiativas de carbono negro (W/m <sup>2</sup> )				
	Presión directa	Efecto semi directo <sup>100</sup>	Efecto de nubes sucias <sup>101</sup>	Efecto de albedo de nieve/hielo	Total
IPCC (2007) <sup>102</sup>	0,2 ± 0,15	-	-	0,1 ± 0,1	0,3 ± 0,25
Jacobson (2001, 2004 y 2006)	0,55 <sup>103</sup>	-	0,03 <sup>104</sup>	0,06 <sup>105</sup>	0,64 <sup>106</sup>
Hansen (2001, 2002, 2003, 2005 y 2007)	0,2 - 0,6 <sup>107</sup>	0,3 ± 0,3 <sup>108</sup>	0,1 ± 0,05 <sup>109</sup>	0,2 ± 0,1 <sup>110</sup>	0,8 ± 0,4 (2001) 1,0 ± 0,5 (2002) ≈0,7 ± 0,2 (2003) 0,8 (2005) <sup>111</sup>
Hansen & Nazarenko (2004) <sup>112</sup>	-	-	-	~ 0,3 globalmente 1,0 <sup>113</sup> Ártico	-
Ramanathan (2007) <sup>114</sup>	0,9	-	-	0,1 - 0,3	1,0 - 1,2

**Tabla 2: Presiones climáticas estimadas (W/m<sup>2</sup>)**

Componente	IPCC (2007) <sup>115</sup>	Hansen, <i>et al.</i> (2005) <sup>116</sup>
CO <sub>2</sub>	1,66	1,50
BC	0,05 - 0,55	0,8
CH <sub>4</sub>	0,48	0,55
Ozono de la troposfera	0,35	0,40
Halocarbonos	0,34	0,30
N <sub>2</sub> O	0,16	0,15

Endnotes

---

\* Institute for Governance & Sustainable Development, <http://www.igsd.org>; International Network for Environmental Compliance & Enforcement, <http://www.inece.org>.

<sup>1</sup> See 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).

<sup>2</sup> 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](http://www.oxfordresearchgroup.org.uk/publications/briefing_papers/globalthreats.php).

<sup>3</sup> James Hansen recently estimated that the concentration beyond which the CO<sub>2</sub> level in the atmosphere is potentially catastrophic is 350ppm, a point which has already been passed. James Hansen, *Target Atmospheric CO<sub>2</sub>: Where Should Humanity Aim?*, at 11 (18 June 2008) ("Equilibrium sea level rise for today's 385 ppm CO<sub>2</sub> 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 CO<sub>2</sub> target of 350 ppm, to be reassessed as the effect on ice sheet mass balance is observed, is suggested.") (Internal citations omitted.)

<sup>4</sup> 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).

<sup>5</sup> 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<sup>-2</sup> (with a range of 0.4 to 1.2 W m<sup>-2</sup>) ... is as much as 55% of the CO<sub>2</sub> forcing and is larger than the forcing due to the other GHGs such as CH<sub>4</sub>, CFCs, N<sub>2</sub>O or tropospheric ozone.")

<sup>6</sup> *Id.* at 221 and 224.

<sup>7</sup> 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].

<sup>8</sup> 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").

<sup>9</sup> 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).

<sup>10</sup> See Bond, *supra* note 9.

<sup>11</sup> 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>.

---

<sup>12</sup> 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).

<sup>13</sup> 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”)

<sup>14</sup> V. Ramanathan & G. Carmichael, *supra* note 5, at 226.

<sup>15</sup> Ramanathan Testimony, *supra* note 9, at 3 (“Thus a drastic reduction in BC has the potential of offsetting the CO<sub>2</sub> induced warming for a decade or two.”).

<sup>16</sup> 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 CO<sub>2</sub> [which has a lifetime of 100 years or more]”).

<sup>17</sup> 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.”).

<sup>18</sup> 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 CO<sub>2</sub> 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](http://pubs.giss.nasa.gov/docs/2002/2002_Hansen_1.pdf) (calculating the climate forcing of BC at 1.0 +/- 0.5 W/m<sup>2</sup>).

<sup>19</sup> V. Ramanathan and G. Carmichael, *supra* note 5, at 222.

<sup>20</sup> 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>.

<sup>21</sup> 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 CO<sub>2</sub> 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 CO<sub>2</sub>.”).

<sup>22</sup> 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.”).

<sup>23</sup> Jacobson Testimony, *id.* at 4.

<sup>24</sup> Jacobson Testimony, *id.*

<sup>25</sup> 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)

<sup>26</sup> Jacobson Testimony, *supra* note 16, at 4.

---

<sup>27</sup> 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.”)

<sup>28</sup> *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”).

<sup>29</sup> Jacobson Testimony, *supra* note 16 at 3.

<sup>30</sup> 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.”).

<sup>31</sup> 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](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).

<sup>32</sup> IPCC, *supra* note 30, at 397.

<sup>33</sup> Zender Testimony, *supra* note 8, at 6.

<sup>34</sup> J. Hansen & L. Nazarenko, *supra* note 21, at 425.

<sup>35</sup> J. Hansen & L. Nazarenko, *id.* at 428.

<sup>36</sup> J. Hansen & L. Nazarenko, *id.* at 425.

<sup>37</sup> See *supra* note 21.

<sup>38</sup> 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).

<sup>39</sup> P.K. Quinn, *supra* note 38, at 1732.

<sup>40</sup> P.K. Quinn, *id.*

<sup>41</sup> 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 (O<sub>3</sub>, its precursors CH<sub>4</sub> and soot) as by CO<sub>2</sub>, offering hope that dual efforts to reduce pollutants and slow CO<sub>2</sub> growth could minimize Arctic change”).

<sup>42</sup> V. Ramanathan & G. Carmichael, *supra* note 5, at 221.

<sup>43</sup> *Id.* at 224.

<sup>44</sup> *Id.*

<sup>45</sup> *Id.*

<sup>46</sup> 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.”).

<sup>47</sup> 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.”).

<sup>48</sup> Jacobson Testimony, *supra* note 16, at 4.

<sup>49</sup> 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>.

<sup>50</sup> 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](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.)

<sup>51</sup> 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].

<sup>52</sup> Jacobson Testimony, *supra* note 16, at 5.

<sup>53</sup> 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>.

<sup>54</sup> V. Ramanathan & G. Carmichael, *supra* note 5, at 226.

<sup>55</sup> V. Ramanathan & G. Carmichael, *supra* note 5, at 226.

<sup>56</sup> Ramanathan Testimony, *supra* note 9, at 4.

<sup>57</sup> V. Ramanathan & G. Carmichael, *supra* note 5, at 221.

<sup>58</sup> V. Ramanathan & G. Carmichael, *id.*

<sup>59</sup> V. Ramanathan & G. Carmichael, *id.*

<sup>60</sup> V. Ramanathan & G. Carmichael, *id.* at 224.

<sup>61</sup> See Bond Testimony, *supra* note 51, at 2 (figure 1).

<sup>62</sup> Bond Testimony, *id.* at 1-2.

<sup>63</sup> 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).

<sup>64</sup> 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).

<sup>65</sup> J. Hansen *et al.*, *Efficacy of Climate Forcing*, *supra* note 31.

<sup>66</sup> 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.”).

<sup>67</sup> 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 . . .”).

<sup>68</sup> 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).

<sup>69</sup> *Id.* at 407-08.

<sup>70</sup> See Raupach, Michael, *et al.*, *Global and Regional Drivers of Accelerating CO<sub>2</sub> 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 CO<sub>2</sub> eq. of 31.9 Gt CO<sub>2</sub> eq. of global emissions—17.25% of total. A reduction of 12% of land use emissions equals 0.66 Gt CO<sub>2</sub> eq., approximately 2% of annual global CO<sub>2</sub> 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 CO<sub>2</sub> eq. emissions, using Lehmann's original 0.2 GtC reduction still results in an approximate 2% reduction in global CO<sub>2</sub> 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](http://www.globalcarbonproject.org/global/pdf/GCP_CarbonCycleUpdate.pdf) (giving 2006 global carbon emissions estimates).

<sup>71</sup> *Id.*

<sup>72</sup> 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.

---

<sup>73</sup> 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.

<sup>74</sup> Ramanathan Testimony, *supra* note 9, at 4.

<sup>75</sup> Jacobson Testimony, *supra* note 16, at 5.

<sup>76</sup> J. Hansen & L. Nazarenko, *supra* note 21, at 428.

<sup>77</sup> Jacobson Testimony, *supra* note 16, at 9.

<sup>78</sup> Jacobson offers an estimate of total U.S. CO<sub>2</sub> emissions in 2005 of 6270 metric tonnes, 26% of which is 1630. *Id.*

<sup>79</sup> Jacobson Testimony, *supra* note 16, at 9.

<sup>80</sup> 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>.

<sup>81</sup> *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”).

<sup>82</sup> *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.”)

<sup>83</sup> 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>.

<sup>84</sup> 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<sub>2.5</sub>): 129,000 tons”).

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

<sup>86</sup> *Id.*

<sup>87</sup> 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.”)

<sup>88</sup> 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 CO<sub>2</sub>(e), and there may be as much as a 30% reduction in CO<sub>2</sub>(e)”).

<sup>89</sup> *Id.*, at Section 3.1 (“In total there is about a 10% reduction of net CO<sub>2</sub>(e) emissions, and if buses are considered separately, net CO<sub>2</sub>(e) emissions are reduced by about 20%”).

<sup>90</sup> 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).

<sup>91</sup> 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).

<sup>92</sup> 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.

<sup>93</sup> V. Ramanathan & G. Carmichael, *supra* note 5, at 226.

<sup>94</sup> V. Ramanathan & G. Carmichael, *id.*

<sup>95</sup> *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).

<sup>96</sup> 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](http://www.giss.nasa.gov/meetings/pollution2002/d4_bergin.html).



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

<sup>98</sup> 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 CO<sub>2</sub> 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, CO<sub>2</sub> 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).

<sup>99</sup> See [http://inece.org/climate/INECEClimateComplianceAlert\\_BlackCarbon.pdf](http://inece.org/climate/INECEClimateComplianceAlert_BlackCarbon.pdf).

<sup>100</sup> 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.").

<sup>101</sup> *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.").

<sup>102</sup> 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  $0.1 \text{ W/m}^2 + 0.1$ ).

<sup>103</sup> 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<sup>-2</sup>, respectively. The multiple-distribution BC direct forcing (0.55) falls between direct-forcing estimates for CH<sub>4</sub> (0.47 W/m<sup>2</sup>) and CO<sub>2</sub> (1.56 W/m<sup>2</sup>) from IPCC [2001].").

<sup>104</sup> 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 W m<sup>-2</sup>).

<sup>105</sup> 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 W m<sup>-2</sup>).

<sup>106</sup> 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.

<sup>107</sup> 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<sup>2</sup> 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  $0.22 \text{ W m}^{-2}$ . 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).").

<sup>108</sup> J. Hansen, *supra* note 21, at 435.

<sup>109</sup> *Id.*

<sup>110</sup> *Id.*

<sup>111</sup> 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<sup>-2</sup>, 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  $0.22 \text{ W m}^{-2}$ . 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).").

---

<sup>112</sup> 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”).

<sup>113</sup> *Id.*, at 425 (The “climate forcing due to snow/ice albedo change is of the order of  $1 \text{ W/m}^2$  at middle- and high-latitude land areas in the Northern Hemisphere and over the Arctic Ocean”).

<sup>114</sup> Ramanathan Testimony, *supra* note 9.

<sup>115</sup> IPCC, *supra* note 4.

<sup>116</sup> J. Hansen, *et al.*, *Efficacy of Climate Forcing*, *supra* note 31.

# Black Carbon Bibliography

20 August 2008\*

## A

Abel, Steven J., Jim M. Haywood, Eleanor J. Highwood, Jia Li, & Peter R. Buseck, *Evolution of biomass burning aerosol properties from an agricultural fire in southern Africa*, 30 GEOPHYSICAL RESEARCH LETTERS 1783 (1 August 2003) available at <http://www.met.rdg.ac.uk/~aer/papers/abel.pdf>.

Andreae, M.O., & A. Gelencser, *Black Carbon or Brown Carbon? The Nature of Light- Absorbing Carbonaceous Aerosols*, 6 ATMOSPHERIC CHEMISTRY AND PHYSICS 3131 (28 July 2006) available at <http://www.atmos-chem-phys.org/6/3131/2006/acp-6-3131-2006.pdf>.

## B

Battye, William & Kathy Boyer, *Catalog of Global Emissions Inventories and Emissions Inventory Tools for Black Carbon*, Draft Report, (Jan. 2002).

Bergin, Mike, *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](http://www.giss.nasa.gov/meetings/pollution2002/d4_bergin.html).

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 2018 (2007) available at <http://dx.doi.org/10.1029/2006GB002840>.

Bond, Tami C., Haolin, Sun, *Can Reducing Black Carbon Emissions Counteract Global Warming?*, 39 ENVTL. SCI. & TECH. 5921 (2005).available at <http://www.aseanenvironment.info/Abstract/41013713.pdf>.

Bond, Tami C., Testimony for the Hearing on Black Carbon and Climate Change, U.S. House Committee on Oversight and Government Reform (18 Oct. 2007) available at <http://oversight.house.gov/documents/20071018110647.pdf>.

Bond, Tami, *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>.

---

\*Institute for Governance & Sustainable Development, <http://www.igsd.org>; International Network for Environmental Compliance & Enforcement, <http://www.inece.org>.

Boucher, O. and M.S. Reddy, *Climate trade-off between black carbon and carbon dioxide emissions*, 36 ENERGY POLICY 193 (2007) available at <http://dx.doi.org/10.1016/j.enpol.2007.08.039>.

## C

Cao, Guoliang, Xiaoye Zhang, & Fangcheng Zheng, *Inventory of black carbon and organic carbon emissions from China*, 40 ATMOSPHERIC ENVIRONMENT 6516 (25 May 2006) available at <http://dx.doi.org/10.1016/j.atmosenv.2006.05.070>.

*Carbon's Other Warming Role*, GEOTIMES (May 2001), available at <http://www.geotimes.org/mar01/warming.html>.

Chameides, William L., & Michael Bergin, *Soot Takes Center Stage*, 297 SCIENCE 2214 (27 September 2002) available at <http://dx.doi.org/10.1126/science.1076866>.

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/EPAAIR/2007/April/Day-25/a6347.pdf>.

Corbett, James J., & Horst W. Koehler, *Updated emissions from ocean shipping*, 108 J. GEOPHYSICAL RESEARCH 4650 (29 October 2003) available at <http://dx.doi.org/10.1029/2003JD003751>.

## E

ENVIRON International Corporation, *Cold Ironing Cost Effectiveness: Port of Long Beach*, Vol. 1 Report, (30 March 2004) available at <http://www.polb.com/civica/filebank/blobdload.asp?BlobID=2157>.

Evangelista, H., J. Maldonado, R.H.M. Godoi, E.B. Pereira, D. Koch, K. Tanizaki-Fonseca, R. Van Grieken, M. Sampaio, A. Setzer, A. Alencar, S.C. Goncalves, *Sources and Transport of Urban and Biomass Burning Aerosol Black Carbon at the South-West Atlantic Coast*, 56, 225 (3 Jan. 2007).

## F

Flanner, Mark G., Charles S. Zender, James T. Randerson, & Philip J. Rasch, *Present-day climate forcing and response from black carbon*, 112 J. GEOPHYSICAL RES. 11202 (5 June 2007) available at [http://dust.ess.uci.edu/ppr/ppr\\_FZR07.pdf](http://dust.ess.uci.edu/ppr/ppr_FZR07.pdf).

Friends of the Earth International, submission to the International Maritime Organization, Marine Environment Protection Committee, *Prevention of Air Pollution from Ships*, (4 May 2007).

## G

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](http://www.globalcarbonproject.org/global/pdf/GCP_CarbonCycleUpdate.pdf).

## H

Hadley, O. L., V. Ramanathan, G. R. Carmichael, Y. Tang, C.E. Corrigan, G. C. Roberts, & G.S. Mauger, *Trans-Pacific transport of black carbon and fine aerosols into North America*, 112 J. GEOPHYSICAL RESEARCH 05309 (14 March 2007) *available at* <http://dx.doi.org/10.1029/2006JD007632>.

Hansen, J., M. Sato, R. Ruedy, L. Nazarenko, A. Lacis, G.A. Schmidt, G. Russell, I. Aleinov, M. Bauer, S. Bauer, N. Bell, B. Cairns, V. Canuto, M. Chandler, Y. Cheng, A. Del Genio, G. Faluvegi, E. Fleming, A. Friend, T. Hall, C. Jackman, M. Kelley, N. Kiang, D. Koch, J. Lean, J. Lerner, K. Lo, S. Menon, R. Miller, P. Minnis, T. Novakov, V. Oinas, Ja. Perlwitz, Ju. Perlwitz, D. Rind, A. Romanou, D. Shindell, P. Stone, S. Sun, N. Tausnev, D. Thresher, B. Wielicki, T. Wong, M. Yao, & S. Zhang, *Efficacy of climate forcing*, 110 J. GEOPHYSICAL RES. 18104 (28 Sept. 2005) *available at* <http://pubs.giss.nasa.gov/docs/2005/2005>.

Hansen, J., M. Sato, R. Ruedy, P. Kharecha, A. Lacis, R. Miller, L. Nazarenko, K. Lo, G.A. Schmidt, G. Russell, I. Aleinov, S. Bauer, E. Baum, B. Cairns, V. Canuto, M. Chandler, Y. Cheng, A. Cohen, A. Del Genio, G. Faluvegi, E. Fleming, A. Friend, T. Hall, C. Jackman, J. Jonas, M. Kelley, N.Y. Kiang, D. Koch, G. Labow, J. Lerner, S. Menon, T. Novakov, V. Oinas, Ja. Perlwitz, Ju. Perlwitz, D. Rind, A. Romanou, R. Schmunk, D. Shindell, P. Stone, S.

Sun, D. Streets, N. Tausnev, D. Thresher, N. Unger, M. Yao, & S. Zhang, *Dangerous humanmade interference with climate: A GISS modelE study*, 7 ATMOSPHERIC CHEMISTRY & PHYSICS 2287 (2007) *available at* <http://www.atmos-chem-phys.org/7/2287/2007/acp-7-2287-2007.pdf>.

Hansen, James, & Larissa Nazarenko, *Soot climate forcing via snow and ice albedos*, 101 PROCEEDINGS OF THE NATIONAL ACADEMY OF SCIENCES 423 (4 November 2003) *available at* <http://www.pnas.org/content/101/2/423.full.pdf+html>.

Hansen, James, *A Brighter Future*, 52 CLIMATIC CHANGE 435 (2002) *available at* <http://pubs.giss.nasa.gov/docs/2002/2002>.

Hansen, James, E., & Makiko Sato, *Trends of Measured Climate Forcing Agents*, 98 PROCEEDINGS OF THE NATIONAL ACADEMY OF SCIENCES 14778 (18 Dec. 2001) *available at* <http://www.pnas.org/content/98/26/14778.full.pdf+html>.

Hansen, James, Makiko Sato, Pushker Kharecha, Gary Russell, David W. Lea & Mark Siddall, *Climate Change and Trace Gases*, 365 PHIL. TRANSACTIONS ROYAL SOC'Y 1925 (18 May 2007). *available at* <http://www.oilcrisis.com/globalWarming/ClimateChangeAndTraceGases.pdf>.

Hansen, James, *Scientific reticence and sea level rise*, Environ. Res. Lett. 2 (2007), 16 Hansen, James, *Target Atmospheric CO<sub>2</sub>: Where Should Humanity Aim?*, OPEN ATMOSPHERIC SCIENCE JOURNAL (forthcoming 2008) (manuscript at 11), *available at* <http://arxiv.org/ftp/arxiv/papers/0804/0804.1126.pdf>.

Hearing on EPA Black Carbon and Global Warming, House of Representatives, Committee on Oversight and Government Reform, (18 October 2007).

## I

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](http://www.imo.org/About/mainframe.asp?topic_id=1709&doc_id=9123).

IPCC, *Chapter 6: Radiative Forcing of Climate Change*, in *Climate Change 2001: The Scientific Basis*, Contribution of Working Group I to the Third Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change (2001).

IPCC, *Summary for Policymakers*, in *Climate Change 2007: The Science Basis*, Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change 29 (2007) *available at* <http://www.ipcc.ch/ipccreports/ar4-wg1.htm>.

Isensee, J., & V. Bertram, *Quantifying external costs of emissions due to ship operation*, Proc. Instn Mech. Engrs PartM: J. 218 ENGINEERING FOR THE MARITIME ENVIRONMENT 41 (2004) *available at* <http://dx.doi.org/10.1243/147509004774048569>.

## J

Jacobson, Mark Z., *Climate respons of fossil fuel and biofuel soot, accounting for soot's feedback to snow and sea ice albedo and emissivity*, 109 J. GEOPHYSICAL RES. 21201 (2004). *available at* <http://dx.doi.org/10.1029/2004JD004945>.

- Jacobson, Mark Z., *Climate response of fossil fuel and biofuel soot, accounting for soot's feedback to snow and sea ice albedo and emissivity*, 109 J. GEOPHYSICAL. RES. D21201 (2004) available at <http://www.stanford.edu/group/efmh/jacobson/SootAlb.pdf>.
- Jacobson, Mark Z., *Control of fossil-fuel particulate black carbon and organic matter, possible the most effective method of slowing global warming*, 107 J. GEOPHYSICAL RES. 4410 (2002) available at <http://dx.doi.org/10.1029/2001JD001376>.
- Jacobson, Mark Z., *Correction to Control of fossil-fuel particulate black carbon and organic matter, possible the most effective method of slowing global warming*, 110 JOURNAL OF GEOPHYSICAL RESEARCH 14105 (23 July 2005) available at <http://dx.doi.org/10.1029/2001JD001376>.
- Jacobson, Mark Z., *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>.
- Jacobson, Mark Z., *Effects of Externally-Through-Internally-Mixed Soot Inclusions within Clouds and Precipitation on Global Climate*, 110 J. PHYS. CHEM. A. 6860 (2006) available at <http://www.stanford.edu/group/efmh/jacobson/BCCloudAbsPap0106.pdf>.
- Jacobson, Mark Z., *Strong radiative heating due to the mixing state of black carbon in atmospheric aerosols*, 409 NATURE 695 (8 February 2001) available at <http://dx.doi.org/10.1038/35055518>.
- Jacobson, Mark Z., *Testimony for the Hearing on Black Carbon and Climate Change*, U.S. House Committee on Oversight and Government Reform (18 Oct. 2007).
- Jacobson, Mark Z., *The Short-Term Cooling but Long-Term Global Warming Due to Biomass Burning*, 17 JOURNAL OF CLIMATE 2909 (1 August 2004) available at <http://www.stanford.edu/group/efmh/bioburn/Respbiob.pdf>.

## L

- 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) available at [http://www.esrl.noaa.gov/research/review/30Jan/6\\_Lack.pdf](http://www.esrl.noaa.gov/research/review/30Jan/6_Lack.pdf).
- Lauer, A., V. Eyring, J. Hendricks, P. Jockel, & U. Lohmann, *Global model simulations of the impact of ocean-going ships on aerosols, clouds, and the radiation budget*, 7 ATMOSPHERIC CHEMISTRY AND PHYSICS 5061 (4 October 2007) available at <http://www.atmos-chemphys.org/7/5061/2007/acp-7-5061-2007.pdf>.

- Lehmann, Johannes, John Gaunt, and Marco Rondon, *Bio-Char Sequestration in Terrestrial Ecosystems – A Review*, 11 MITIGATION AND ADAPTATION STRATEGIES FOR GLOBAL CHANGE 403, at 403-07, 418 (2006), available at <http://www.css.cornell.edu/faculty/lehmann/publ/MitAdaptStratGlobChange%2011,%20403-427,%20Lehmann,%202006.pdf>.
- Lenton, Timothy, 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) available at <http://www.pnas.org/content/105/6/1786.full.pdf>.
- 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.earthpolicy.org/Updates/2008/Update71.htm>.
- Levy, H. II, M.D., et. al., *Strong Sensitivity of late 21st century climate to projected change in short-lived air pollutants*, 113 GEOPHYSICAL RES. 6102, 2 (2008) available at <http://dx.doi.org/10.1029/2007JD009176>.

## M

- Martins, Vanderlei, J., Paulo Artaxo, Catherine Liousse, Jeffrey S. Reid, Peter V. Hobbs, & Yoram J. Kaufman, *Effects of Black Carbon Content, Particle Size, and Mixing on Light Absorption by Aerosols from Biomass Burning in Brazil*, 103 J. GEOPHYSICAL RESEARCH 32041 (27 Dec. 1998) available at <http://dx.doi.org/10.1364/AO.47.003835>.
- McConnell, Joseph R., Ross Edwards, Gregory L. Kok, Mark G. Flanner, Charles S. Zender, Eric S. Saltzman, J. Ryan Banta, Daniel R. Pasteris, Megan M. Carter, & Jonathan D. W. Kahl, *20th-Century Industrial Black Carbon Emissions Altered Arctic Climate Forcing*, 317 SCIENCE 1381 (2007) available at <http://handix.com/files/McConnelletal2007.pdf>.
- Menon, Surabi, James Hansen, Larissa Nazarenko, Yunfeng Luo, *Climate Effects of Black Carbon Aerosols in China and India*, 297 SCIENCE 2250 (27 Sept. 2002).available at <http://shadow.eas.gatech.edu/~jean/monsoon/Menonmonsoon.pdf>.

## N



Narain, Urvashi, 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) available at <http://www.rff.org/rff/documents/rff-dp-05-48.pdf>.

Novakov, T. , S. Menon, T. W. Kirchstetter, D. Koch, & J. E. Hansen, *Aerosol organic carbon to black carbon ratios: Analysis of published data and implications for climate forcing*, 110 J. GEOPHYSICAL RESEARCH 21205 (8 November 2005) available at <http://www.osti.gov/energycitations/servlets/purl/862173-emSWRr/862173.PDF>.

Novakov, T., & J.E. Hansen, *Black carbon emissions in the United Kingdom during the past four decades: an empirical analysis*, 38 ATMOSPHERIC ENVIRONMENT 4155 (22 April 2004) available at <http://www.osti.gov/energycitations/servlets/purl/832952-pdp3mC/native/832952.PDF>.

## P

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>.

## Q

Quinn, P.K., 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. Warne, *Short-Lived Pollutants in the Arctic: Their Climate Impact and Possible Mitigation Strategies*, 8 ATMOSPHERIC CHEMISTRY & PHYSICS 1723 (2008).available at <http://www.atmos-chemphys.org/8/1723/2008/acp-8-1723-2008.pdf>.

## R

Ramanathan, V. & G. Carmichael, *Global and regional climate changes due to black carbon*, 1 NATURE GEOSCIENCE 221 (2008).available at <http://dx.doi.org/10.1038/ngeo156>.

Ramanathan, V., *Role of Black Carbon on Global and Regional Climate Change*, Testimony for the Hearing on Black Carbon and Climate Change, U.S. House Committee on Oversight and Government Reform (18 Oct. 2007) available at <http://oversight.house.gov/documents/20071018110734.pdf>.

Raupach, Michael, *et al.*, *Global and Regional Drivers of Accelerating CO<sub>2</sub> Emissions*, 104 PROC. OF THE NAT'L ACAD. OF SCI. 24 (2007) available at <http://www.pnas.org/content/104/24/10288.full.pdf>.

Reddy, Shekar M., & Olivier Boucher, *Climate impact of black carbon emitted from energy consumption in the world's regions*, 34 GEOPHYSICAL RESEARCH LETTERS 11802 (2 June 2007) available at <http://dx.doi.org/10.1029/2006GL028904>.

Reynolds, Conor C. O. & 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) available at <http://dx.doi.org/10.1021/es702863p>.

Roberts, David L. & Andy Jones, *Climate Sensitivity to black carbon aerosol from fossil fuel combustion*, 109 J. GEOPHYSICAL RESEARCH 16202 (18 August 2004) available at <http://dx.doi.org/10.1029/2004JD004676>.

## S

Sanchez-Ccoyllo, Odon R., Rita Y. Ynoue, Leila D. Martins, Rosana Astolfo, Regina M. Miranda, Edmilson D. Freitas, Alessandro S. Borges, Adalgiza Fornaro, Helber Freitas, Andrea Moreira, Maria F. Andrade, *Vehicular Particulate Matter Emissions in Road Tunnels in Sao Paulo, Brazil*, Environmental Monitoring & Assessment, (14 Jan. 2008).

Sato, Makiko, James Hansen, Dorthoy Koch, Andrew Lacis, Reto Ruedy, Oleg Dubovik, Bent Holben, Mian Chin, & Tica Novakov, *Global Atmospheric black carbon inferred from AERONET*, 100 PROCEEDINGS OF THE NATIONAL ACADEMY OF SCIENCES 6319 (27 May 2003) available at [http://aeronet.gsfc.nasa.gov/PDF/Sato\\_et\\_al\\_2003.pdf](http://aeronet.gsfc.nasa.gov/PDF/Sato_et_al_2003.pdf).

Shukman, David, *Vast Cracks Appear in Arctic Ice*, BBC NEWS (23 May 2008), available at <http://news.bbc.co.uk/2/hi/science/nature/7417123.stm>.

Stier, Philip, John H. Seinfeld, Stefan Kinne, Johann Feichter, & Olivier Boucher, *Impact of nonabsorbing anthropogenic aerosols on clear-sky atmospheric absorption*, 111 JOURNAL OF GEOPHYSICAL RESEARCH 18201 (19 September 2006) available at <http://dx.doi.org/10.1029/2006JD007147>.

Streets, David G., Shalini Gupta, Stephanie T. Waldhoff, Michael Q. Wang, Tami C. Bond, Bo Yiyun, *Black carbon emissions in China*, 35 ATMOSPHERIC ENVIRONMENT 4281 (12 March 2001) available at [http://dx.doi.org/10.1016/S1352-2310\(01\)00179-0](http://dx.doi.org/10.1016/S1352-2310(01)00179-0).

## T

Takemura, Toshihiko, Teruyuki Nakajima, Oleg Dubovik, Brent N. Holben, & Stefan Kinne, *Single-Scattering Albedo and Radiative Forcing of Various Aerosol Species with a Global Three-*

*Dimensional Model*, 15 JOURNAL OF CLIMATE 333 (15 February 2002) available at [http://aeronet.gsfc.nasa.gov/PDF/Takemura\\_et\\_al.J.Climate.2002.pdf](http://aeronet.gsfc.nasa.gov/PDF/Takemura_et_al.J.Climate.2002.pdf).

## V

V. Ramaswamy, & Michael Oppenheimer, *On the sensitivity of radiative forcing from biomass burning aerosols and ozone to emission location*, 34 GEOPHYSICAL RESEARCH LETTERS 03818 (2007) available at <http://dx.doi.org/10.1029/2006GL028149>.

## Z

Zender, Charles S., *Arctic Climate Effects of Black Carbon*, Written Testimony for the Hearing on Black Carbon and Climate Change, U.S. House Committee on Oversight and Government Reform (18 Oct. 2007).available at [http://dust.ess.uci.edu/ppr/ppr\\_hogrc\\_wrt.pdf](http://dust.ess.uci.edu/ppr/ppr_hogrc_wrt.pdf).