

La determinación de la Huella de Carbono como una oportunidad formativa en Ingeniería

Guillermo R. Friedrich y Aloma S. Sartor

Universidad Tecnológica Nacional-Facultad Regional Bahía Blanca, gfried@frbb.utn.edu.ar

Resumen— Las consecuencias del Cambio Climático y los probados efectos que las emisiones de gases de efecto invernadero motivan diferentes estrategias y compromisos nacionales e internacionales, para avanzar hacia escenarios de reducción del aumento de la temperatura global. Aunque en la Argentina aún no hay regulaciones que exijan la reducción de emisiones, su participación en el Acuerdo de París, debería impulsar leyes particulares para cumplir con las metas establecidas. La Huella de Carbono es un índice ampliamente difundido a nivel de naciones, ciudades, organizaciones y productos, como punto de partida para diseñar estrategias y planes de mejoras, especialmente asociados al consumo de energía, por su gran incidencia en las emisiones de gases de efecto invernadero. También es un índice de fácil comprensión y de impacto transversal en la organización, que facilita su comunicación en relación con el desempeño ambiental de la entidad a todos sus integrantes y partes interesadas. La Cooperativa Obrera Limitada, asumiendo la importancia de profundizar acciones previas a nivel de su organización en dirección a la sustentabilidad, solicitó a nuestra Facultad el desarrollo de una metodología para medir su Huella de Carbono. En el trabajo participaron alumnos avanzados, bajo la dirección de los autores, resultando una experiencia formativa significativa, tanto por la integración de temáticas de áreas diversas como por la interdisciplinariedad del equipo de trabajo. Se considera una oportunidad formativa muy interesante, lo que motiva darla a conocer para que pueda ser replicada.

Palabras clave—huella de carbono, gases de efecto invernadero, eficiencia energética, práctica profesional supervisada.

I. INTRODUCCIÓN

LA Cooperativa Obrera Ltda. es una organización que cuenta con 124 sucursales de venta minorista, supermercados e hipermercados, con base en Bahía Blanca y que se halla presente en diferentes ciudades de las provincias de Buenos Aires, La Pampa, Río Negro y Neuquén. Tiene además centros de logística e industrias de panificación, fraccionamiento de fiambres y frigorífico.

El cuidado del medio ambiente y la sustentabilidad se encuentran dentro de los principios del cooperativismo mundial y de la propia Cooperativa Obrera, con programas y acciones de concientización y educación dirigidos a sus asociados. Desde la 1° Cumbre Cooperativa de las Américas realizada en Guadalajara, México, con el “Pacto Verde Cooperativo. Un compromiso con la Tierra” (2009) hasta la reciente IV Cumbre Cooperativa de las Américas realizada en Montevideo en 2016, cuyo lema fue “Cooperativas: Asociatividad para el Desarrollo Sostenible” la Cooperativa Obrera ha trabajado en torno a incorporar acciones internas de mejora en su gestión y en programas de acciones exógenas para concientizar, educar e influir en las comunidades con las que interactúa, en principios del desarrollo sustentable.

En este marco es que solicita a la Universidad Tecnológica Nacional, Facultad Regional Bahía Blanca, el desarrollo de una metodología para medir la Huella de Carbono de su organización, que a posteriori le permita proyectar y evaluar estrategias de mejora.

El presente trabajo está organizado de la siguiente manera: inciso II se presenta el contexto nacional e internacional en esta temática, inciso III el concepto de huella de carbono, inciso IV los objetivos, metodología y desarrollo del trabajos y en el V un análisis de los aspectos pedagógicos y formativos de la experiencia.

II. CONTEXTO NACIONAL E INTERNACIONAL

Las consecuencias del Cambio Climático (CC) y los probados efectos que las emisiones de los gases efecto invernadero (GEI) tienen sobre este proceso, han impulsado diferentes estrategias y compromisos a niveles nacionales e internacionales para avanzar hacia escenarios que frenen el aumento de la temperatura, a través de la disminución de dichas emisiones. Los gases considerados en el Protocolo de Kioto son: Dióxido de Carbono (CO₂), Metano (CH₄), Óxido nitroso (N₂O), Hidrofluorocarburos (HFC), Hexafluoruro de azufre (SF₆) y Perfluorocarburos (PFC), siendo el CO₂ el más abundante.

Aunque en la Argentina aún no hay regulaciones para exigir la reducción de emisiones, sin embargo el país ha participado en las diferentes reuniones cumbres internacionales para lograr acuerdos de disminución de emisiones y las últimas ratificaciones de sus compromisos internacionales en materia de CC llevarán a impulsar un marco normativo necesario para cumplimentar dichos compromisos.

La Convención Marco sobre CC de Naciones Unidas, organizó la COP21 realizada en París a finales del 2015, que produjo el Acta Acuerdo, firmada por 195 países, con perspectiva de mantener el aumento de la temperatura por debajo de 2° en relación a las temperaturas de la era preindustrial y con miras en alcanzar el 1,5° y que entró en vigor el 4 de noviembre de 2016, convirtiéndose en un punto de inflexión global. [1] Así mismo, la COP22 realizada en Marrakech, también en noviembre del mismo año, avanzó en la profundización de los compromisos, definición de acciones y recursos, que aunque no son suficientes, han mostrado ser el inicio de un camino irreversible en la lucha contra el CC [2]. Por último, es importante señalar para los objetivos del presente trabajo, el Acuerdo Mundial firmado en Ruanda para reformar el Protocolo de Montreal (14/10/16), con el objeto de reducir las emisiones de gases refrigerantes hidrofluorocarbonos, altamente nocivos para el proceso del calentamiento global, que propone una meta de reducción del 80% para mitad de siglo. En esta instancia

participaron gobiernos, sociedad civil, organizaciones y ciudades, actores centrales en la transformación. [3]

La Cooperativa Obrera, asumiendo la importancia de profundizar acciones previas a nivel de su organización en dirección a la sustentabilidad, solicita a la UTN-FRBB el desarrollo de una metodología para medir su Huella de Carbono (HC). Este índice es ampliamente difundido a nivel de las naciones, ciudades, organizaciones y productos, como punto de partida para diseñar estrategias y planes de mejora, especialmente asociados al uso de la energía, por su gran incidencia en las emisiones de GEI. Con el concepto de HC en una organización se pretende describir el impacto total que sus acciones tienen sobre el clima, en relación a las emisiones de GEI a la atmósfera. El reconocimiento y valoración social de sus acciones, permiten prever una importante influencia y concientización en las comunidades en las que está inserta. Hacia el interior de la organización, facilitará un punto de partida para políticas internas destinadas a mejorar su posición respecto de la HC asociada a su actividad y contar con información diagnóstica necesaria para diseñar acciones de Eficiencia Energética.

III. EL CONCEPTO DE HUELLA DE CARBONO

La HC es un índice que mide la cantidad equivalente de toneladas de CO₂ correspondiente a las emisiones de distintos GEI que resultan de las actividades de una organización, la producción de un determinado producto o servicio, etc. Es un índice ampliamente difundido, porque resulta de fácil comprensión y tiene impacto transversal en la organización, facilitando la comunicación en cuanto al desempeño ambiental de la entidad, a todos sus integrantes y partes interesadas. [4]

El cálculo se realiza a partir de identificar la generación de emisiones de GEI, en forma directa o indirecta, que resultan de las actividades. Se establece un límite operativo para el cálculo de la HC, siguiendo los lineamientos de la Norma ISO 14064-1. La misma establece que la organización debe medir en forma separada las emisiones directas de GEI que define el Alcance 1, las emisiones indirectas que constituyen el Alcance 2 y otras emisiones indirectas que corresponden al Alcance 3.

Alcance 1: son las emisiones de fuentes que están en propiedad o controladas por la organización. En el caso de estudio se han incluido en este alcance a las emisiones debidas al consumo de combustible líquido en los equipos electrógenos para generar energía de respaldo, también las emisiones producidas por combustión de gas natural en calderas, termotanques, hornos, cocinas y freidoras, y las emisiones fugitivas de gases refrigerantes utilizados en equipos de climatización y refrigeración.

Alcance 2: son las emisiones indirectas generadas como consecuencia de actividades de la organización pero que no se encuentran en poder ni control de la misma. Por ejemplo, las emisiones debidas a la generación de la electricidad que consume la organización para iluminación, fuerza motriz, computación, equipos de frío y refrigeración, hornos, fermentadora, etc., y también las emisiones correspondientes a la generación del gas natural consumido por equipamiento comprendido en el Alcance 1.

Alcance 3: incluye las emisiones generadas por actividades tercerizadas, viajes, desplazamientos de empleados y emisiones generadas por descomposición de residuos o tratamientos de efluentes de la organización, entre otras.

Cabe mencionar que las emisiones comprendidas en el Alcance 3 han sido excluidas del estudio, al menos en una primera etapa.

La determinación de la HC consiste en realizar un inventario de emisiones. Las emisiones generadas pueden cuantificarse de diferentes formas, según las características técnicas de cada equipo. En este trabajo se utilizó como información base una estimación de consumo de cada equipamiento y un factor de conversión que da la cantidad de Carbono equivalente emitida por dicha fuente. [5]

Por ejemplo, para una emisión de Alcance 1 originada por la combustión de un cierto combustible:

$$E_g = C_c \cdot FE_{c,p} \quad [T CO_2 eq] \quad (1)$$

Donde: E_g es la emisión del GEI g en toneladas equivalentes (de CO₂ en este caso); C_c es el consumo del combustible c y $FE_{c,p}$ es el factor de emisión del combustible c para el proceso o tecnología p .

Para las emisiones de Alcance 2, energía eléctrica y gas natural en el caso estudiado, se adoptaron los factores de emisión publicados por la Secretaría de Energía de la Nación, 0.000342 [T CO₂ eq/KW-h] para la energía eléctrica y 0.00195 [T CO₂ eq/m³] para el gas natural. [6] También corresponden al Alcance 2 los gases refrigerantes, que se computan de acuerdo al consumo efectuado para compensar las fugas que se producen en los equipos de refrigeración. En este caso se adoptaron los factores de emisión publicados por el Panel Intergubernamental de Cambio Climático (PICC). [7]

IV. OBJETIVOS, METODOLOGÍA Y DESARROLLO DEL TRABAJO

A partir de la estructura de la organización, con 124 sucursales de diferentes grados de complejidad y tamaño, distribuidas en 55 ciudades, sumadas a otro tipo de dependencias e instalaciones, se decidió desarrollar un sistema de relevamiento y cálculo, en esta etapa, basado en dos modelos dos sucursales, una más compleja y de mayor escala y otra de escala mediana, que se tomarían como referencias piloto para la aplicación del instrumento de relevamiento de datos y el posterior análisis de distribución de la contribución a la HC de los distintos sectores. Se eligió la Sucursal 28, un hipermercado que incluye cocina, panadería y que contiene todas las variantes el "Híper de la Cooperativa Obrera" y la Sucursal N° 6, ambas localizadas en la ciudad de Bahía Blanca.

Los objetivos propuestos para la realización del trabajo fueron los siguientes:

- Determinar la HC de las sucursales 28 y 6, a partir de los consumos de electricidad, gas, gas-oil y gases refrigerantes.
- Efectuar un relevamiento y análisis del uso y funcionamiento de los distintos equipos e instalaciones de iluminación, refrigeración, acondicionamiento de aire, cocina, panadería, etc., a fin de efectuar una estimación de cada una de las distintas contribuciones a la HC total.
- Diseñar un esquema para la recolección y análisis de información, que pueda ser de aplicación general al resto de sucursales y dependencias.
- Identificar las causas de posibles desvíos con respecto a lo esperable en los consumos y/o aportes a la HC.

- Elaborar propuestas de acción que permitan reducir la HC y/o mejorar la eficiencia energética de las sucursales.

La parte más importante del trabajo, tanto desde el punto de vista técnico como desde el aspecto formativo fue la correspondiente al trabajo de campo, durante el cual se efectuó el relevamiento de equipos e instalaciones, y el posterior análisis en gabinete. Esto tenía como objetivo efectuar una estimación lo más certera posible de la contribución de cada uno de los equipos e instalaciones a los distintos consumos y a la HC. Esta parte del trabajo es un plus, que tiene como objetivo orientar a la organización en la búsqueda de mejoras, tanto en términos de Eficiencia Energética (EE) como de reducción de la HC.

En el caso de los consumos eléctricos, se relevaron las potencias de los equipos e instalaciones de iluminación y fuerza motriz, y se efectuaron estimaciones con respecto a la cantidad de horas de utilización de cada uno a lo largo del año, y en el caso de los motores también se efectuaron mediciones y/o estimaciones del porcentaje de potencia real, dependiente de la carga, con respecto a la nominal. Luego, la suma de todos los consumos debía aproximarse lo más ajustadamente al total de la energía facturada en el año. A modo de ejemplo, la Tabla I se presentan las estimaciones de uso, que dan como resultado la energía total consumida en el año, para dos equipos centralizados de frío.

TABLA I

ESTIMACIONES DE USO Y ENERGÍA TOTAL CONSUMIDA CORRESPONDIENTES A DOS EQUIPOS CENTRALES DE FRÍO

| Equipo | Potencia [kW] | Régimen de trabajo | Uso diario [hs] | Días al año | Energía total anual [MWh] |
|--------|---------------|--------------------|-----------------|-------------|---------------------------|
| R22 | 67,113 | 54% | 8 | 365 | 105,824 |
| | | 18% | 5 | 365 | 22,047 |
| | | Total: | | | 127,871 |
| R404 | 16,778 | 99% | 8 | 365 | 48,502 |
| | | 33% | 5 | 365 | 10,105 |
| | | Total: | | | 58,607 |

La potencia nominal en kW se obtuvo a partir de la potencia en HP indicada en cada equipo. El régimen de trabajo se determinó mediante mediciones, constatándose que ambos equipos funcionan 8 hs a un cierto régimen máximo y 5 hs a un tercio de aquel. Es de destacar la importancia de haber interactuado con el personal técnico de mantenimiento, tanto para la obtención de información como asistencia para efectuar las mediciones.

De manera similar se trató al resto de los consumos eléctricos. Cabe mencionar que, en el caso de la iluminación, el régimen de trabajo es el 100% de la potencia nominal.

El consumo total estimado según esta metodología dió un error menor al 1% con respecto a los totales obtenidos de las facturas de la empresa de electricidad, lo que se considera muy satisfactorio. Cabe aclarar que la mayor o menor exactitud de estas estimaciones no afecta al cálculo de la HC, sino a la determinación de los distintos aportes que la componen, y por consiguiente, a las orientaciones con respecto a las posibles mejoras a efectuar.

Algo análogo se efectuó con los equipos que consumen gas natural, con los resultados consignados en la Tabla II.

TABLA II

ESTIMACIONES DE CONSUMOS DE GAS NATURAL

| Equipo | Cantidad | Consumo [m3 / h] | Uso diario [hs] | Días al año | Consumo anual [m3] |
|-------------|----------|------------------|-----------------|---------------|--------------------|
| Hornallas | 18 | 0,3220 | 7,5 | 365 | 15.866,55 |
| Freidora | 1 | 0,4301 | 7,5 | 365 | 1.177,40 |
| Horno | 1 | 7,5000 | 12,5 | 365 | 34.218,75 |
| Termotanque | 1 | 5,3763 | 8 | 365 | 15.698,80 |
| Caldera | 1 | 7,5260 | 2 | 365 | 5.493,98 |
| | | | | Total: | 72.455,47 |

En este caso, el error entre el consumo estimado y el total facturado fue inferior al 0,5%.

Computando también la recarga de gases refrigerantes y el combustible del generador de emergencia, y aplicando luego los correspondientes factores de emisión, se obtuvo la composición de la HC de cada sucursal estudiada. En la Fig. 1 se observa la composición porcentual correspondiente a una de ellas.

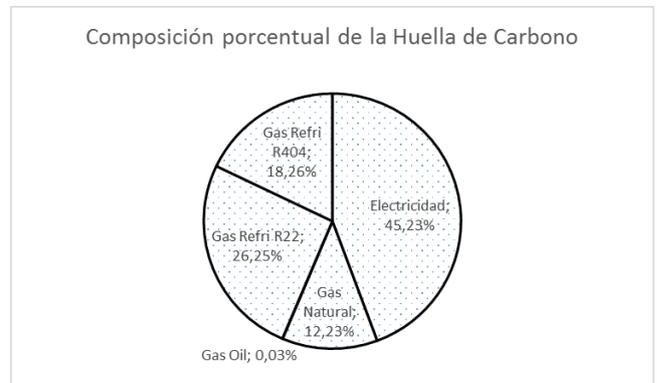


Fig. 1: Composición porcentual de la huella de carbono de una de las sucursales estudiadas

A partir del relevamiento y posterior análisis de los distintos consumos se efectuó el desagregado de la composición de los distintos consumos y su aporte a la HC. En la Fig. 2 se presentan los resultados correspondientes a una de las sucursales estudiadas. Del análisis de estos resultados surgieron propuestas de mejora que luego fueron presentadas a las autoridades y responsables de los sectores involucrados de la institución. Estos resultados permiten establecer prioridades para elaborar un plan de mejoras y/o correcciones.

Se puede observar que la mayor contribución a la HC proviene de la recarga de gases refrigerantes, por su elevados factores de emisión. Se propone una acción correctiva para una primera etapa, consistente en reforzar el mantenimiento preventivo de los equipos de frío, a fin de evitar o reducir al mínimo las fugas de estos gases. Mientras tanto, y para implementar en una segunda etapa, se propone evaluar el paulatino reemplazo de los equipos de frío por otros que utilicen gases de menor impacto en la HC.

En un segundo lugar aparece el consumo eléctrico y dentro de éste la iluminación. En este punto cabe considerar no sólo el aspecto ambiental sino también el económico, ya que un reemplazo de las lámparas actuales, en su mayoría tubos fluorescentes, por otras de tipo LED tendrá también un gran impacto económico. Sin embargo, dicho reemplazo implica una inversión considerable. La evaluación de alternativas es también una oportunidad formativa para los estudiantes.

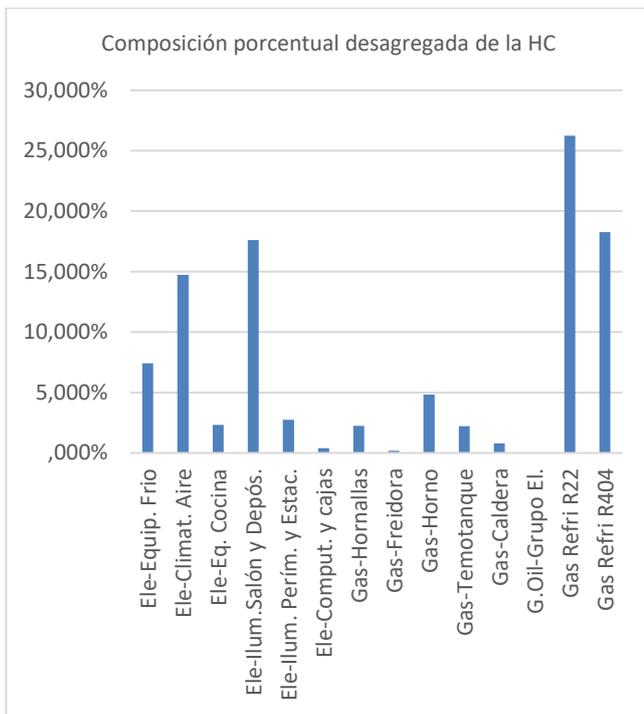


Fig. 2 Desagregado de la composición de la HC de una de las sucursales estudiadas

V. ANÁLISIS DE ASPECTOS PEDAGÓGICOS Y FORMATIVOS DE LA EXPERIENCIA.

El trabajo tuvo diferentes momentos en los que los estudiantes desarrollaron sus actividades. En primera instancia leyeron documentos sobre HC, CC y metodologías, e investigaron sobre el cálculo de factores de conversión. Esta etapa les permitió despertar interés en el tema, tener conciencia del problema del CC y su relevancia, como así también las oportunidades de mitigación desde las acciones en diferentes planos (ciudades, organizaciones, etc.).

Posteriormente, iniciaron la búsqueda y preparación de material necesario para la organización de los relevamientos en las sucursales. Les permitió tener experiencia en realizar gestiones con diferentes sectores de la organización para ajustar medidas de seguridad e interlocución con responsables de las diferentes áreas. La preparación de la visita consistía en el análisis de planos, identificación de diferentes áreas de servicios y desarrollo de un plan de relevamiento de los sistemas mecánicos, eléctricos de climatización, instalaciones de iluminación, generación de energía y distribución de equipos existentes (comparando con la información previa). En este caso debían organizar las visitas optimizando el tiempo y sus resultados.

En otra etapa solicitaron la información de consumos de la sucursal de: electricidad, gases refrigerantes, gas natural y combustibles líquidos. Esta información les permitía armar planillas de cálculo y utilizar factores de conversión para calcular las emisiones de GEI, totales, por sectores, de Alcance 1 y Alcance 2.

VI. RESULTADOS PEDAGÓGICOS

La oportunidad de organizar grupos de trabajo con estudiantes de diferentes carreras: Ingeniería Mecánica, Ingeniería Electrónica y Licenciatura en Organización Industrial generó una valiosa experiencia para el desarrollo de trabajo en equipo, complementando los distintos perfiles

y formaciones, distribuyendo tareas e interactuando en el análisis y generando oportunidad de valoración del trabajo colaborativo. Los alumnos pudieron dar sentido a los aprendizajes previos; mejorar en su confianza con las actividades de reconocimiento de equipos, tecnologías, estado y desarrollar y aplicar criterios para realizar relaciones de semejanza o diferenciación entre tecnologías, equipos y sistemas.

Las características del trabajo exigieron al grupo desarrollar estrategias para la preparación y planificación del trabajo en campo y su revisión a partir de los resultados de cada relevamiento.

Pudieron desarrollar experiencia de procesamiento de datos y construcción de información a partir de la comprensión de un marco teórico inicial (CC, metodologías de estimación de HC, eficiencia energética, cuadros tarifarios de servicios, marcos normativos, etc).

El objetivo del cálculo de la HC acompañado de los relevamientos de instalaciones y equipos permitió realizar constataciones y verificaciones de las estimaciones realizadas utilizando consumos y factores de conversión. Asimismo, el trabajo facilitó incorporar la dimensión ambiental y de energía en la actividad de Ingeniería, ya que la HC brinda también una información importante para realizar un plan de eficiencia energética de la organización.

Finalmente, la elaboración de propuestas de mejoras y/o correcciones, teniendo en cuenta las cuestiones ambientales al mismo tiempo que las técnico-económicas, es una importante contribución a la formación profesional de los alumnos participantes.

AGRADECIMIENTOS

Agradecemos a la Cooperativa Obrera Ltda. y sus autoridades por haber convocado a la Facultad para realizar este trabajo, especialmente a los Sres. Enrique Moreno y Braian Chaz, y la Lic. Josefina Marín Rahe, quienes fueron no sólo el nexo con el grupo de trabajo, sino también impulsores de la actividad.

REFERENCIAS

- [1] COP21. 21 Conferencia de las Partes de la Convención Marco de Naciones Unidas sobre Cambio Climático de 2015. París, en: <http://www.un.org/sustainabledevelopment/es/cop21/>
 - [2] COP22. 22 Conferencia de las Partes de la Convención Marco de Naciones Unidas sobre Cambio Climático de 2016. Marrakech, en: <http://www.un.org/sustainabledevelopment/cop22/>
 - [3] Van Engel, J. (2016). "Un nuevo impulso para el Protocolo de Montreal en su lucha contra el cambio climático". Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo, en: <http://bit.ly/2o7zrgK>
 - [4] Catálogo de Publicaciones de la Administración General del Estado. (2015). "Guía para el Cálculo de la Huella de Carbono y para la elaboración de un Plan de Mejora de una Organización". Editado por Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente. España. En: <http://publicacionesoficiales.boe.es/>
 - [5] Gomez, D.; Watterson, J (2006). "Directrices del IPCC de 2006 para los inventarios nacionales de gases de efecto invernadero". Capítulo 2. Combustión Estacionaria. Volumen 2, Energía. En: <http://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/spanish/vol2.html>
 - [6] Secretaría de Energía de la Nación. "Factores de emisión". Sistema Eléctrico de Argentina, en: http://www.energia.gob.ar/contenidos/archivos/Reorganizacion/informacion_del_mercado/publicaciones/mercado_electrico/factor_emision/Factor_Emision_2014_1.xls
- Ashford, P. (2006). "Directrices del IPCC de 2006 para los inventarios nacionales de gases de efecto invernadero". Capítulo 7. Emisiones de los sustitutos fluorados para las sustancias que agotan la capa de ozono. Volumen 3. Procesos Industriales y uso de productos. En: <http://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/spanish/vol3.html>