

CONSIDERACIONES DE SOSTENIBILIDAD AL CAMBIO CLIMÁTICO EN LA VIALIDAD INVERNAL

Comité técnico 2.4 *Servicios de Invierno*
Asociación mundial de la Carretera

SOBRE LA ASOCIACIÓN MUNDIAL DE LA CARRETERA

La Asociación Mundial de la Carretera (AIPCR) es una organización sin fines de lucro establecida en 1909 para mejorar la cooperación internacional y fomentar el progreso en el ámbito de las carreteras y el transporte por carretera.

El estudio objeto del presente informe se definió en el Plan Estratégico de la AIPCR de 2012-2015 aprobado por el Consejo de la Asociación Mundial de la Carretera, integrado por representantes de los gobiernos nacionales miembros. Los miembros del Comité Técnico responsable de este informe fueron nominados por los gobiernos nacionales miembros debido a sus competencias especiales.

Las opiniones, resultados, conclusiones y recomendaciones expresadas en esta publicación son las de los autores y no reflejan necesariamente los puntos de vista de sus entidades o agencias matrices.

Este informe está disponible en la página web de la Asociación Mundial de la Carretera: <http://www.piarc.org>

Copyright por la Asociación Mundial de la Carretera. Todos los derechos reservados.

Asociación mundial de la Carretera (PIARC)

Tour Pascal B, 19^e étage

92055 La Défense CEDEX, FRANCE

Número Internacional Normalizado para Libros (ISBN): 978-2-84060-439-6

Portada © Staffan Möller, VTI

CONSIDERACIONES DE SOSTENIBILIDAD AL CAMBIO CLIMÁTICO EN LA VIALIDAD INVERNAL

Comité técnico 2.4 *Servicios de Invierno*
Asociación mundial de la Carretera

AUTORES Y AGRADECIMIENTOS

Este informe ha sido realizado por el grupo de trabajo 2 del *Comité Técnico 2.4 "Servicios de Invierno"* de la Asociación Mundial de Carreteras AIPCR.

Los contribuidores a este reporte son:

- Anna ARVIDSSON (Suecia)
- Didier GILOPPÉ (Francia)
- Tuovi PÄIVIÖ (Finlandia)
- Jan ÖLANDER (Suecia)
- Jukka KARJALAINEN (Finlandia)
- David PALMITJAVILA (Andorra)

Los autores principales del presente reporte son: Anna ARVIDSSON (Suecia); Didier GILOPPÉ (Francia); Tuovi PÄIVIÖ (Finlandia) y Alan CHAMBERS (Inglaterra).

Los editores del presente reporte son Anna ARVIDSSON (Suecia), para la versión inglés; Didier GILOPPÉ (Francia) para la versión francesa.

La traducción al francés de la versión original fue llevada a cabo por Didier GILOPPÉ (Francia).

Anna ARVIDSSON (Suecia) fue la responsable del Comité Técnico para el control de calidad de este reporte.

El Comité Técnico fue presidido por Didier GILOPPÉ (Francia); Rich NELSON (EE.UU) y José Carlos VALDECANTOS (España) fueron respectivamente los secretarios para los anglosajones e hispanohablantes.

El presente reporte en francés está disponible bajo la referencia 2016R31FR.



RESUMEN EJECUTIVO

2016R31ES

CONSIDERACIONES DE SOSTENIBILIDAD AL CAMBIO CLIMÁTICO EN LA VIALIDAD INVERNAL

En el presente reporte, se ha tratado de resumir la información sobre las Consideraciones al Cambio Climático en las Operaciones de Invierno.

El primer paso de este proyecto fue conseguir información relevante sobre el cambio climático y el mantenimiento en invierno y repartirlo en seis categorías: Nivel de servicio para dueños de carreteras, Mantenimiento de carreteras, Modelos de pronóstico meteorológico (RWIS), Indicadores para distinguir variaciones de clima y operaciones, Diferentes modelos e Infraestructura.

De los informes encontrados, 45 fueron seleccionados, leídos y clasificados dentro de las seis categorías. En cada categoría, se eligió un informe para representarla.

Describe las “*buenas prácticas*”, por ejemplo, la manera más sostenible o el método más innovador usado actualmente. Contiene tanto ejemplos de temas como distintas maneras de informar a los usuarios de las carreteras cuando éstas se encuentran en mantenimiento, información sobre congestión de tráfico, trabajo en la carretera o accidentes. También describe diferentes métodos preventivos para evitar carreteras resbaladizas.

El presente reporte también hace una lista del nuevo equipo y tecnologías para ayudar tanto en el planeamiento como realización de los servicios de invierno.

ÍNDICE

INTRODUCCIÓN	3
1. CAMBIO CLIMÁTICO	5
1.1. CAMBIO CLIMÁTICO Y MANTENIMIENTO DE INVIERNO.....	6
2. LISTA DE INFORMACIÓN RELACIONADA CON LAS CONSIDERACIONES DE SOSTENIBILIDAD AL CAMBIO CLIMÁTICO EN LAS OPERACIONES DE INVIERNO	8
2.1. TEMA 1. NIVEL DE SERVICIO DE LOS PROPIETARIOS DE CARRETERAS. PRESUPUESTO.....	8
2.2. TEMA 2. MANTENIMIENTO DE CARRETERAS.....	9
2.3. TEMA 3. MODELOS DE PREVISIÓN RWIS.....	12
2.4. TEMA 4. INDICADORES PARA ENCONTRAR LA VARIACIÓN DE CLIMA Y OPERACIONES.....	13
2.5. TEMA 5. DIFERENTES MÉTODOS.....	15
2.6. TEMA 6. INFRAESTRUCTURA.....	16
3. COMPILACIÓN DE EJEMPLOS DE MEJORES PRÁCTICAS	17
3.1. MÉTODOS PREVENTIVOS.....	18
3.2. ESPARCIDORES.....	21
3.3. ARADOS.....	22
3.4. MÉTODOS DE SOSTENIBILIDAD.....	25
3.5. EQUIPO DE SEGURIDAD DEL VEHÍCULO - NEUMÁTICOS DE INVIERNO.....	27
3.6. INFORMACIÓN PARA USUARIOS DE CARRETERAS.....	29
3.7. SUGERENCIAS SOBRE NUEVOS MÉTODOS Y SOSTENIBLES PARA EL SERVICIO DE INVIERNO.....	32
4. LISTADO DE TECNOLOGÍAS EXISTENTE Y EN CIERNES PARA AYUDAR EN LA MEDICIÓN Y EVALUACIÓN DE LAS OPERACIONES DE INVIERNO	34
4.1. FRICCIÓN DE LAS CARRETERAS.....	34
4.2. DETECCIÓN DE CONDICIÓN DE CARRETERAS.....	38
5. CONCLUSIONES	40
6. FUTURAS ACTIVIDADES	41
7. GLOSARIO	42
8. REFERENCIAS	43
9. ANEXO	47

INTRODUCCIÓN

El presente reporte es el resultado del Grupo de Trabajo 2.4.2. "*Consideraciones de Sostenibilidad al Cambio Climático en las Operaciones de Invierno*" del Comité Técnico 2.4 Servicios de Invierno.

La estrategia para el reporte fue estudiar el impacto medioambiental del mantenimiento de invierno, tomando en consideración la variabilidad de las condiciones meteorológicas, incluyendo las incertidumbres y los incidentes y magnitud de severas condiciones de invierno.

El mantenimiento de carreteras es normalmente una tarea eficiente medioambientalmente, pues retrasa la necesidad de reparaciones a gran escala o reconstrucción de carretera y, por lo tanto, reduce en gran medida el uso general de materiales, la producción de desechos, la emisión de gases del efecto invernadero y contaminantes y otros impactos medioambientales. Dicho esto, el mantenimiento de invierno es probablemente la actividad menos ecológica en el mantenimiento de carreteras: el uso de materiales descongelantes y anticongelantes, sin mencionar las huellas de carbono debido al uso extensivo de la maquinaria y otras actividades similares, incrementan el impacto medioambiental en comparación con las operaciones normales.

Los efectos visibles de los descongelantes en la flora y fauna próxima a la carretera pueden ser obvios, pero el impacto de estos materiales es más profundo. El efecto del tratamiento de las carreteras en la tierra, aguas subterráneas e incluso en los microorganismos es mucho menos visible.

De igual manera, la idea de que las operaciones de invierno dejen una huella de carbono (aunque sea solo del uso de combustible durante las operaciones de descongelación y anticongelantes) es, hoy en día, fácil de entender. A pesar de que el uso de las herramientas adecuadas está lejos de ser difundido a través de los operadores de mantenimiento de invierno, las preocupaciones relacionadas, como las compañías de construcción, están usando cada vez más métodos para evaluar y medir la huella de carbono de maneras cuantificables. Esto puede permitir eficientes métodos de contrarresto y localización de áreas donde se pueda lograr dicha reducción.

A pesar del incremento en la cantidad de herramientas y datos disponibles para medir el impacto de una manera real, y por lo tanto facilitar la acción, una evaluación del impacto en las operaciones de invierno está lejos de estar completo. ¿Podemos evaluar el impacto medioambiental de la degradación de las carreteras debido a las operaciones de invierno? ¿De la corrosión de los vehículos? ¿De filtración debido al almacenamiento de sales fundidas? El primer paso hacia la creación de buenas herramientas de diagnóstico es tener buenas definiciones de evaluaciones de los fenómenos a ser evaluados.

Esto es especialmente cierto en el caso de que consideremos qué tanto el cambio climático se ha vuelto una preocupación social y, en algunos casos y regiones, una realidad cambiante con la cual debe lidiar el personal de mantenimiento. En esta área está disponible una gran cantidad de información relacionada con las tendencias previstas del cambio climático. Es un área de investigación extremadamente dinámica, donde el entendimiento y modelamiento de comportamientos previstos está siendo continuamente actualizada y mejorada.

Sin embargo, las diferencias regionales abundan, con algunas regiones cayendo presa de las reducciones dramáticas en las lluvias y las nevadas, otras sujetas a episodios más imprevisibles e intensos de las inclemencias del tiempo y otras todavía experimentando un «*desplazamiento*» o cambio en la longitud de las estaciones tradicionales. Las consecuencias exactas de estos cambios constantes sobre las operaciones de invierno son difíciles de evaluar y definir, pero un diagnóstico temprano de sus efectos y su impacto ambiental puede ser cruciales para minimizar los desequilibrios de su sostenibilidad.

A medida que el medio ambiente se ha ido convirtiendo en una preocupación social, se ha dado lugar a una creciente comunidad de investigadores que trabajan en el tema y el consiguiente aumento de la cantidad de informes disponible sobre el mismo. En paralelo a una serie de soluciones tecnológicas que aparecen en el mercado que permitan que los gerentes de carreteras «*afinen*» su respuesta maximizando eficacia en las operaciones, reduciendo al mínimo el uso innecesario o excesivo de los recursos, Las autoridades viales y las inquietudes privadas han invertido recursos en el desarrollo de guías de mejores prácticas: manuales que detallan las prácticas que no sólo disminuirán el impacto negativo de las operaciones sobre el medio ambiente, pero por lo general tienen influencia en el aumento de la eficiencia y eficacia de los trabajos durante las temporadas de invierno.

El rápido ritmo de cambio tecnológico y de comportamiento estacional significa que las recomendaciones pueden convertirse rápidamente insuficiente y obsoleta: sin una evaluación de los impactos y las métricas, las herramientas y las respuestas de las evaluaciones siempre pueden ser destituidos.

El alcance del presente reporte ha sido identificar y medir los impactos ambientales del mantenimiento de invierno, identificar la información relevante sobre el cambio climático, teniendo en cuenta el aumento de la variabilidad de las condiciones climáticas, incluyendo la incertidumbre en cuanto a la ocurrencia y magnitud de severas condiciones de invierno.

1. CAMBIO CLIMÁTICO

Necesitamos una definición de cambio climático y cómo se desarrollará en el futuro para que podamos minimizar nuestro impacto en el medio ambiente, pero aún podemos responder adecuadamente con el servicio de invierno.

La Quinta Evaluación (AR5) del IPCC (Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático) consiste de informes de tres Grupos de Trabajo y un Informe Sintetizado en fases desde Septiembre del 2013 hasta Octubre del 2014 [1-4]- EN el siguiente texto están los últimos descubrimientos sobre el cambio climático enfocándose en los impactos durante los meses de invierno.

A medida que aumenta la temperatura global, la mayoría de los lugares experimentarán temperaturas extremas más calientes que las actuales. Estos extremos pueden ser en una escala diaria y estacional. Todavía habrá algunas ocasiones con temperaturas frías extremas. Los valores de retorno de veinte años por bajas temperaturas extremas incrementarán y se producirán con más frecuencia, y mayor frecuencia se dará en latitudes altas [5].

La imagen primera muestra el cambio en la temperatura media de la superficie entre dos períodos de 20 años: 1986/2005 y 2081/2100. Los cambios son para dos escenarios, el escenario de alta t y baja emisión, RCP y RCP 2.6 8.5. Las temperaturas globales probablemente aumentarán entre 0,3 °C y 1,7 °C (RCP 2.6) a 2.6 °C a 4.8 °C (RCP 8.5), con el calentamiento de la mayor rapidez en el Ártico.

Es probable que los cambios en la temperatura global superen los 1,5 °C en comparación con el promedio de temperatura en 1850-1900. Es probable que el calentamiento supere los 2 grados RCP 8.5.

La *ilustración 1b* muestra el cambio en la precipitación. Las latitudes altas son propensas a experimentar un aumento en la precipitación anual, mientras que es probable que haya una disminución en las latitudes medias y las regiones secas subtropicales.

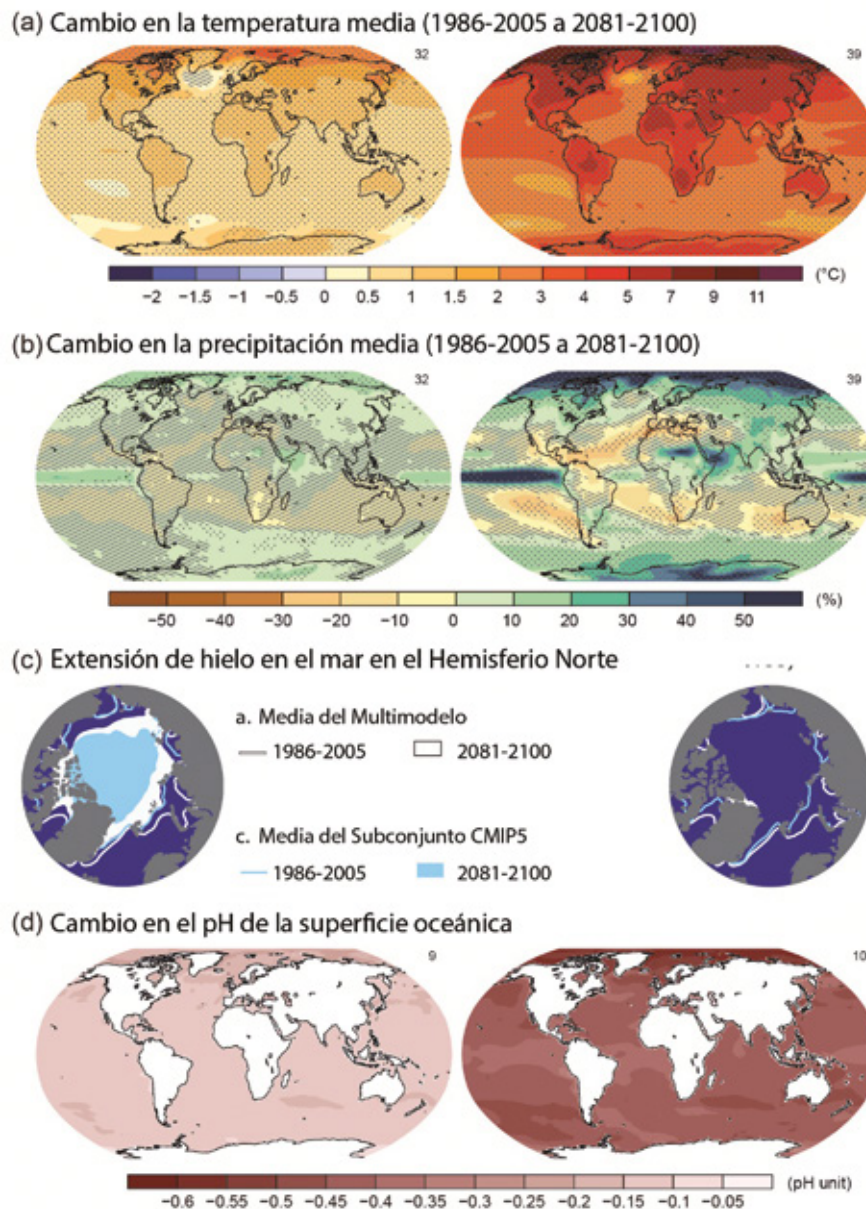


Ilustración 1 - Mapas de proyección de promedios de temperatura superficial y precipitación anual de fines del siglo 21.

1.1. CAMBIO CLIMÁTICO Y MANTENIMIENTO DE INVIERNO

El cambio climático influirá en las necesidades de mantenimiento de invierno de diferentes maneras en diferentes partes del mundo. A modo de ejemplo, Suecia es un país largo y estrecho que se encuentra en la parte norte de Europa, con un clima regional que difiere entre el norte y el sur. En el proyecto de IRWIN [6] se calcularon los datos del clima de carreteras para escenarios futuros. Estos datos meteorológicos modelados de carreteras fueron utilizados más adelante en el proyecto KLIVIN. Además, el índice de severidad del invierno sueco se combinó con los datos del clima de carreteras para el cálculo de las tendencias para las necesidades futuras de sal en tres partes de Suecia (Gotemburgo, Estocolmo y Sundsvall). En este estudio los requisitos de sal se calcularon en períodos de 30 años entre 1970 y 2100. Los resultados muestran que el consumo de sal en relación con las nevadas disminuirá en las tres regiones, mientras que el uso de sal en relación con la temperatura (sal sobre todo preventiva) se incrementará en la región norte (Sundsvall) y muestran una pequeña disminución en las otras dos regiones (Gotemburgo y Estocolmo) (ilustración 2) [7].

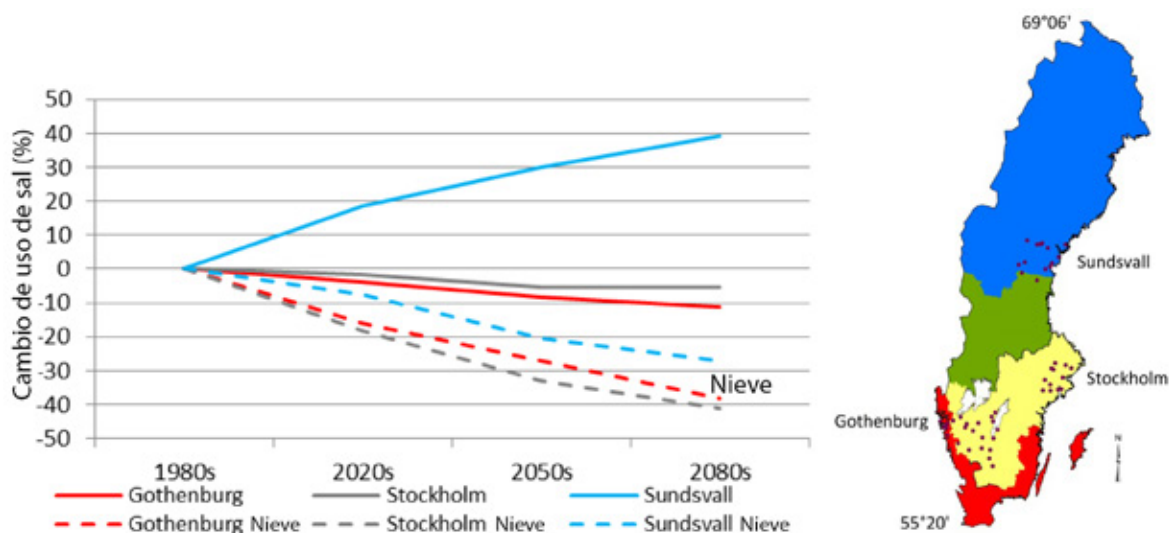


Ilustración 2 – Escenario para cambios en la sal durante el siglo 21. Mapa de las regiones.

Otro ejemplo del efecto más regional del cambio climático en la red de carreteras son Andersson & Chapman [8], quienes utilizan un generador de tiempo, EARWIG, y calculan la distribución de temperaturas en West Midlands, Reino Unido, para el escenario de línea de base y para los tres futuro períodos del 2020 (2011-2040), 2050 (2041-2070) y de 2080 (2071-2100). Utilizaron el escenario de emisiones medio-altas UKCIP02 derivadas de la historia del IPCC SRES A2 [9]. El generador se utilizó para calcular el porcentaje de días al mes para temperaturas de aire iguales o por debajo de los dos umbrales de 0 °C y 5 °C. Como era de esperar, en línea con los escenarios UKCP09, hay una tendencia general de aumento de las temperaturas en el tiempo. Esto a su vez se traduce en una disminución en el número de días de heladas y la duración de la temporada de invierno. Por el momento, se pueden esperar 69 días de heladas en la región cada año, pero esto se prevé que se acortará por 28 en el 2080. Hubo una tendencia similar con el umbral superior de 5 °C, y luego la reducción fue del 38%.

2. LISTA DE INFORMACIÓN RELACIONADA CON LAS CONSIDERACIONES DE SOSTENIBILIDAD AL CAMBIO CLIMÁTICO EN LAS OPERACIONES DE INVIERNO

Se llevó a cabo una extensa búsqueda en la información por parte de la Biblioteca y Centro de Información VTI (BIC). Esta biblioteca especial es una de las más grandes de Europa con la información sobre el tráfico, el transporte y la infraestructura de transporte en todos los modos de transporte. Tiene, en nombre del Ministerio de Empresa, Energía y Comunicaciones, la responsabilidad nacional de suministrar información sobre el transporte en Suecia. Otras búsquedas de publicaciones se han hecho en el Internet junto con las publicaciones de las últimas conferencias AIPCR y SIRWEC.

Con el fin de recopilar referencias relevantes, los siguientes 6 temas fueron elegidos por categorías informes en más de un tema.

1. Nivel de servicio de los propietarios de carreteras. Presupuesto
2. Mantenimiento de carreteras
3. Modelos de previsión RWIS
4. Indicadores para encontrar la variación de clima y operaciones
5. Diferentes métodos
6. Infraestructura

Dentro de estos temas se ha elegido un documento para un breve análisis. Todos los resúmenes de las ponencias que se leyeron se pueden encontrar en el Anexo.

2.1. TEMA 1. NIVEL DE SERVICIO DE LOS PROPIETARIOS DE CARRETERAS. PRESUPUESTO

Timilsina y Kralovic [10] escribió «*Efectos potenciales del cambio climático en la ciudad de Calgary: La adaptación a un nuevo entorno*» para la ciudad de Calgary.

El enfoque principal fue sobre el efecto del cambio climático en Calgary. Este informe comienza con una discusión sobre el cambio climático global y el efecto potencial en Calgary. La ciudad de Calgary tiene un tipo de clima continental seco, el cual está controlado por las Montañas Rocosas en el oeste, pero con nada que impida las corrientes de aire procedentes del norte o del sur. El aire húmedo y cálido del medio oeste de los EE.UU. afecta a la zona durante todo el año, lo que puede dar lugar a grandes eventos de precipitación regionales. Durante el invierno, el aire frío del Ártico viene desde el norte, lo que resulta en condiciones de nevadas y/o fuerte viento frío. En este informe, los escenarios predicen que las temperaturas en invierno aumentarán entre 5 ° C y 9 ° C para finales de siglo, en esta área, en comparación con la línea base de 1961 a 1990.

El artículo describe el impacto del cambio climático en entornos naturales como la vegetación, el abastecimiento de agua, el impacto en el desarrollo social (salud y recreación al aire libre) y el sistema económico. Las partes más interesantes y relevantes de este informe son las que consideran los impactos en el entorno construido, es decir, la infraestructura, el transporte y el consumo de energía.

El impacto del cambio climático sobre la infraestructura y el transporte tendrá efectos tanto negativos como positivos. Un aumento de la temperatura dará lugar a un mayor deterioro del pavimento, sin embargo, también reducirá el daño causado por eventos de congelación-descongelación en el pavimento y también reducirá los costos y accidentes asociados con las tormentas de invierno. El cambio climático podría afectar los patrones de precipitación y lo más probable es que aumente la intensidad y frecuencia de eventos con fuertes lluvias.

Hay una probabilidad de reducción en las necesidades de mantenimiento de invierno y el costo de la remoción de nieve en el sur de Canadá. Se prevé que los inviernos serán más cortos, con una cantidad más variables de precipitación. El estudio afirma que si se da una longitud más corta del invierno, existe el riesgo de que las ciudades reduzcan su equipo mecánico para quitar la nieve. Esto puede conducir a más averías si se presenta un evento de nevadas más extremo. Si el equipo falla, dará lugar a la necesidad de tener un inventario más alto de piezas de repuesto. Las ciudades tendrán que estar preparadas para tener reservas más grandes de sal y arena, pues la lluvia helada puede ser más común.

La conclusión del informe es que el cambio climático podría afectar a toda la ciudad de muchas maneras diferentes. Es probable que haya un aumento en el costo del impacto de las inundaciones en la infraestructura. Por otro lado, para el mantenimiento de invierno, es probable que haya una reducción del costo en las tormentas de invierno, y ya que se esperan inviernos más cortos, los costos del mantenimiento de invierno y remoción de nieve se reducirán.

Otros informes:

- El efecto del cambio climático en el mantenimiento rutinario y periódico de carreteras [11].
- Respuestas operativas a efectos del cambio climático [12].
- El cambio climático y las posibles implicaciones para el Sistema de Transporte de California [13].
- Adaptación al cambio climático en el sector del transporte [14].
- Índice de clima de invierno para la estimación de los costos de mantenimiento de carretera en invierno en el Medio Oeste [15]
- Gestión del riesgo para las carreteras en un clima cambiante, RIMAROCC. [16]
- Adaptación al cambio climático [17]

2.2. TEMA 2. MANTENIMIENTO DE CARRETERAS

Los miembros del grupo de trabajo Grendstad y CEDR [17] escribieron «*La adaptación al cambio climático*».

El objetivo principal de este informe es esbozar las principales consecuencias del cambio climático en la infraestructura vial y proponer acciones para la adaptación de la red de carreteras al cambio climático. La atención se centra en la aplicación de medidas adecuadas para adaptar la red de carreteras al cambio climático. Presenta los retos y las herramientas disponibles para enfrentar estos desafíos.

También se espera que Europa sienta el impacto del cambio climático durante el siglo XXI. Las predicciones indican que la temperatura anual aumentará entre 1 y 5,5 °C. A medida que la

precipitación anual pueda ir aumentando en el norte y disminuyendo en el sur, la intensidad de la precipitación diaria y la intensidad de la precipitación extrema podrían aumentar en todas las regiones.

El informe es muy amplio e interesante. Se ofrece una visión general de los riesgos relacionados con el cambio climático en cada país participante y también una visión general de los trabajos en curso relacionados con la adaptación al cambio climático a nivel nacional y de la gestión de carreteras. También se muestran ejemplos de trabajos en curso de adaptación y buenas prácticas.

El cambio climático traerá una serie de retos para la red de carreteras en Europa. En la mayoría de los casos estos serán los mismos retos que hoy en día, pero en una escala más grande, se producirán con más frecuencia y en otros lugares de los esperados. También se podrían experimentar combinaciones meteorológicas más inusuales. En algunos casos, el cambio climático puede ser incluso beneficioso para los dueños de la carretera.

Los principales efectos del cambio climático se resumen de la siguiente manera:

- más inundaciones y la erosión: un reto para los sistemas de drenaje y protección contra la erosión y para el diseño y mantenimiento de alcantarillas y puentes
- deslizamientos de tierra y avalanchas: se producirán con más frecuencia, en nuevas ubicaciones y con una mayor cantidad de deslizamiento de tierras húmedas, como las avalanchas de aguanieve y el flujo de escombros
- deterioro de las carreteras y las aceras: según lo expresado en la vida útil y la formación de surcos, sobre todo en los casos donde el drenaje es insuficiente
- efectos de la subida del nivel del mar en la estabilidad costera y la importancia de asegurar la elevación suficiente para carreteras, muelles y puentes, así como los niveles de ingreso de los túneles submarinos
- fuertes nevadas en las zonas montañosas del norte de Europa causarán problemas para el mantenimiento de invierno y las operaciones en condiciones difíciles
- la necesidad de una mejor gestión de riesgos y procedimientos eficientes para tomar acciones correctivas después de que ocurra un evento relacionado con el clima, debido al hecho de que las medidas de protección existentes pueden no ser suficientes y que la planificación de las medidas correctivas requiere tiempo.

Todos los efectos mencionados anteriormente pueden ser reconocidos en todas las fases de la gestión de carreteras: planificación, diseño, construcción, mantenimiento y operación.

El informe menciona que ya deberíamos estar adaptándonos al cambio climático durante la fase de planificación, por ejemplo; elegir una alineación donde el camino no esté demasiado expuesto al riesgo de deslizamientos de tierra e inundaciones y proporcionar un buen plan general para la gestión de las aguas de escorrentía.

El cambio climático requiere la adaptación de las directrices de diseño con el fin de asegurar una buena capacidad de drenaje y protección contra la erosión, definir los requisitos adecuados de calidad de los materiales de construcción de carreteras, gestionar los riesgos de deslizamientos de tierra y poner en práctica medidas para garantizar la protección del medio ambiente. Los contratos de construcción que tengan en cuenta el cambio climático son

importantes para evitar algunos de los problemas que podrían ocurrir durante el mantenimiento y las operaciones.

El mantenimiento y las operaciones de la red de carreteras existentes es donde se requieren más cambios. Esto incluirá la evaluación de riesgos mediante la identificación de activos vulnerables y riesgos potenciales, y la gestión de riesgos relacionados con los eventos relacionados con el clima, que incluyen tanto medidas preventivas como planes de emergencia. Tomar acción en los atrasos del mantenimiento es una parte importante de la adaptación al cambio climático, además de ser beneficioso para otras razones. En las zonas montañosas y en los países del norte será necesario prepararse para condiciones invernales severas. Habrá la necesidad de una mayor atención a la gestión del tráfico en condiciones climáticas difíciles, incluyendo la comunicación de riesgos, cambio de ruta y el uso de un buen sistema de vigilancia para el control del tráfico. Los contratos para el mantenimiento y las operaciones tienen que ser revisados para asegurarse de que tengan en cuenta las condiciones climáticas.

El informe describe con más detalle los efectos sobre la vialidad invernal. Afirma que el mantenimiento de invierno es en gran medida una operación del día a día en el que los modelos de operación se pueden cambiar con relativa rapidez con el fin de adaptarse al entorno de trabajo. Sin embargo, en países en los que los períodos contractuales son varios años, la planificación debe hacerse con una perspectiva de cinco a diez años. En un futuro próximo habrá una necesidad de perfeccionar los modelos de operación de mantenimiento de invierno para optimizar recursos, métodos de trabajo y el nivel de servicios para nevadas más intensiva.

Más precipitación intensa dará lugar a nevadas más frecuentes o intensificadas en altas latitudes o regiones montañosas, con un impacto en la demanda de quitanieves. Más viento en estas regiones incrementará la nevada y por lo tanto requerirá más arado. En las tierras bajas se espera menos nevadas, ya que la mayor parte de la precipitación invernal será lluvia.

Los efectos del cambio climático en el mantenimiento de invierno, para eliminar el hielo, serán diferentes según la región. En Escandinavia y Finlandia, se espera que la zona donde se salan carreteras sea extendida más al norte debido a las temperaturas más altas de invierno. Las carreteras que han sido hasta ahora sujeta a la política «*camino blanco*» pueden sufrir cambios de temperatura frecuentes alrededor del punto de congelación y el uso de sal aumentará, a pesar de la temporada de invierno más corta. En general, se puede esperar que el cambio climático cambiará la demanda local de servicio de invierno: algunos tramos de carretera pueden necesitar menos mantenimiento, mientras que otros pueden necesitar más.

A medida que el uso de sal se incremente en Escandinavia, se deberá prestar más atención a su impacto ambiental. Esto significa una mayor vigilancia de los recursos de aguas subterráneas y una mejor protección de las aguas subterráneas.

Dado que los recursos disponibles no siempre permiten un buen nivel de servicio y el cambio climático aumentará el riesgo de incidentes, habrá una necesidad de mejorar la gestión de incidentes. Esto incluye la mejora de los sistemas de información vial para los usuarios, la evaluación de riesgos, la gestión del tráfico, etc. Los datos de incidentes pueden ser incluidos en la información del vehículo, por ejemplo, en los sistemas GPS, y también se podrían incluir previsiones e información de riesgos.

También es importante para mantener el desarrollo de la base de conocimientos para la adaptación. Esto se puede lograr; apoyando la investigación sobre el cambio climático y sus efectos en la infraestructura; mediante la mejora de la vigilancia, la cartografía y la documentación de los eventos relacionados con el clima en la red de carreteras; mediante una mejor educación sobre el cambio climático, y mediante la sensibilización sobre la importancia de la adaptación.

El informe recomienda el análisis de riesgos y el análisis de costo-beneficio de las posibles medidas de adaptación para la toma de decisiones y una buena comunicación entre los expertos en meteorología e hidrología y los expertos de mantenimiento.

Otra información:

- Los impactos climáticos y adaptación de las carreteras en el norte de Canadá [18]
- Adaptación al cambio climático en la gestión vial. Estudio preliminar [19]
- El efecto del cambio climático en el mantenimiento rutinario y periódico de carreteras [11]
- Cambio Climático y su impacto en las condiciones de las carreteras en invierno [20]
- Eventos extremos del clima y transporte por carretera y ferroviario en Alemania [21]
- Carreteras y Cambio Climático en las Regiones Montañosas: Mantener la cabeza fría en la solución de problemas severos [22]
- Gestión del riesgo para las carreteras en un clima cambiante, RIMAROCC. [16]
- Adaptación al Cambio Climático - Informe sobre las Medidas de adaptación al cambio climático por carreteras de bajo volumen en la Periferia Norte [23]
- El cambio climático - Influencia en las carreteras: Adaptación de la gestión de carreteras [24]
- Cambio Climático y Servicios de Carretera en Invierno [25]

2.3. TEMA 3. MODELOS DE PREVISIÓN RWIS

Saarikivi [6] escribió «Índice de invierno local mejorado para evaluar las necesidades de mantenimiento y los costos de adaptación en los escenarios de cambio climático - Informe Final».

La idea de IRWIN era combinar los mejores escenarios climáticos tradicionales con los datos espaciales mucho más precisos procedentes de estaciones de campo en el Sistema de Información de Clima de Carreteras (RWIS) instalado en la mayoría de los países nortños como Suecia y Finlandia.

Este informe analiza cómo diferentes cambios en el clima están afectando la viabilidad invernal. Es el estado de la técnica y en dos partes; Modelos climáticos y escenarios y los índices de invierno. También incluye un modelo para predecir las temperaturas de superficie de carretera en el futuro.

Las observaciones históricas, desde el 1 de octubre al 31 de marzo 1997 a 2008, fueron analizadas para comprender los climas actuales en las áreas de estudio y para ver las variaciones naturales en el clima tanto dentro como entre las seis regiones diferentes; tres en Suecia y tres en Finlandia. Estas observaciones históricas se utilizaron para las comparaciones con los futuros valores modelados. Los futuros escenarios modelados fueron construidos con los datos históricos.

Los resultados mostraron que la temperatura aumentaría más en las zonas septentrionales de Suecia y Finlandia. Las mismas áreas experimentarán una mayor cantidad de eventos cuando haya un cambio de más a menos grados y por lo tanto necesitarán más mantenimiento debido al deslizamiento causado por este cambio. Sólo la región en el suroeste de Suecia tendrá en el futuro menos días de cambios de temperatura de más a menos grados debido a un clima más cálido en esa zona.

El futuro traerá más días de lluvia en las superficies frías en las partes septentrionales del país debido al clima más suave. También habrá más días con precipitaciones en forma de lluvia en vez de nieve. Las zonas del norte también experimentan más días con deslizamiento debido a las heladas cuando la temperatura de la superficie sea bajo y el punto de rocío sea más alta que la temperatura de la superficie. Estos días de heladas se producirán con menor frecuencia en el futuro en las zonas más meridionales.

El índice desarrollado en este estudio ha demostrado ser una herramienta útil para las operaciones de mantenimiento en el futuro. Se puede dar información valiosa a los interesados en cuanto a donde y cuando las medidas se deben tomar. Evaluaciones similares podrían hacerse con relativa facilidad en otros países si está disponible suficiente información histórica sobre carreteras.

Otra información:

- El impacto del cambio climático sobre el uso de anticongelante y descongelante en Suecia [7]
- El cambio climático y el mantenimiento de carreteras en invierno: ¿Será la complacencia el nuevo asesino? [26]
- Condiciones y consecuencias del clima para las operaciones de descongelamiento como lo demuestran las situaciones en carreteras y aeropuertos en Gardermoen, Noruega [27]

2.4. TEMA 4. INDICADORES PARA ENCONTRAR LA VARIACIÓN DE CLIMA Y OPERACIONES

Halton y Laval [28] escribieron «*Los efectos del cambio climático previstos para las Operaciones de Servicio de invierno*».

El informe se centra en los cambios y efectos que se predice que el cambio climático tendrá sobre el mantenimiento de invierno en el Reino Unido. El informe comienza con otra investigación relevante hecha en este campo en Escocia, Francia, otros países de Europa y América del Norte. También da algunos antecedentes a las proyecciones de cambio climático del Programa de Impacto del Clima del Reino Unido Programa.

Se presentan las tendencias observadas recientemente en el Reino Unido sobre clima invernal relevantes para las operaciones de servicio de invierno (temperatura, heladas, nieve, y precipitación). Partes esenciales de este informe son las proyecciones para el cambio climático en invierno y los efectos potenciales en las operaciones de servicio de invierno. Las proyecciones para el cambio climático de invierno se presentan en el 2040 y 2100.

Los inviernos en el Reino Unido serán más suaves y húmedos. Habrá una reducción significativa en el número de días muy fríos, así como una disminución sustancial en nevadas en todo el

país. Los llamados episodios de precipitaciones intensas probablemente aumentarán en frecuencia y magnitud. Los cambios varían mucho regionalmente. Como se dijo en el informe: «*Los aumentos de temperatura asociados con el cambio climático tendrá un efecto especialmente significativo en los elementos tradicionales de las operaciones de servicio en invierno*». Además de la temperatura, también se describen efectos sobre las emisiones, precipitaciones, nevadas y estacionalidad se en este informe. Las inundaciones pueden en el futuro ser una de las actividades clave de consideración en los servicios en invierno. La disminución de la cantidad de nieve tiene efectos significativos: «*Las reducciones proyectadas de nieve asociadas al cambio climático daría lugar a los cambios más significativos en la entrega actual de las operaciones de servicio en invierno*».

En el informe hay recomendaciones en cuanto al tipo de datos que la Dirección General de Carreteras debe registrar y evaluar para facilitar la adaptación al cambio climático. Durante este proyecto, los investigadores tuvieron dificultades para obtener datos sobre el clima de invierno y por el tratamiento de carreteras. Los autores recomiendan que se registren mensualmente distintos tratamientos e información climática por parte proveedores de servicios y la Agencia de Carreteras.

Una de las partes más impresionantes del informe es una tabla completa y visual de observaciones y acciones, incluyendo las modificaciones necesarias a hacerse con el Manual de Gestión de Redes, parte del servicio de invierno, utilizado por la Agencia de Carreteras. La tabla presenta observaciones, acciones y sus escalas de tiempo (los que deben abordarse de inmediato, los que están a medio plazo y otros en los que las acciones reales son a mucho más largo plazo). En uno de los anexos, hay una guía de matriz de decisión y una guía de matriz de tratamiento.

Otra información:

- Propietarios de carreteras enfrentándose con el cambio climático [29]
- Condiciones de Carreteras en Invierno y Accidentes de Tráfico en Suecia y el Reino Unido: Presentes y Futuros Escenarios Climáticos [30]
- Red de carreteras de Escocia: Informe resumido del estudio del cambio climático [31]
- El impacto del cambio climático en el mantenimiento de carreteras en invierno y accidentes de tráfico en West Midlands, Reino Unido [8]
- El impacto del cambio climático y el cambio del clima en el transporte: Una visión general de los hallazgos empíricos [32]
- El impacto del cambio climático sobre el uso de descongelante y anticongelante en Suecia [7]
- Tendencias recientes de cambios en nevadas y espesor de la nieve en Japón y su impacto en las medidas de control de la nieve [33]
- Globale Ursachen - Regionale Folgen: Kuenftige Entwicklung des Winterwetters en Deutschland / causas globales; consecuencias regionales: el futuro desarrollo del clima de invierno en Alemania [34]
- Variabilidad y cambio climático con implicaciones en el transporte [35]
- Carreteras y Cambio Climático en las Regiones Montañosas: Mantener la cabeza fría en la resolución de un tema candente [22]
- La adaptación al cambio climático [17]
- El cambio climático - Influencia en adaptación de carreteras por la gestión de carreteras [24]
- El efecto del cambio climático en las políticas y normas de carreteras de la red 3CAP [36]

- El cambio climático y la infraestructura [37]
- Impacto del cambio climático en el hielo, carreteras de invierno y rutas de acceso en la primera nación de Manitoba [38]
- Evaluación de las simulaciones de modelos climáticos regionales para obtener información relacionada con el transporte de invierno en el corredor urbano del valle de San Lorenzo [39]
- Estrategia de la Administración Federal de Carreteras para la adaptación al cambio climático [40]
- ¿Qué impacto tendrá el cambio climático en las carreteras de Suecia y cómo tratar con él? [41]

2.5. TEMA 5. DIFERENTES MÉTODOS

Hudecz [23] escribió «*Adaptación al Cambio Climático - Informe sobre las medidas de adaptación al cambio climático en carreteras de bajo volumen en la Periferia Norte*».

Se discuten una serie de cuestiones y se dan algunas recomendaciones en este informe: Se prevé que el clima de la Tierra cambiará. Para las áreas de la Periferia Norte, esto podría significar que el futuro podría traer veranos más calurosos y secos, inviernos más húmedos y cálidos con aumento de frecuencias de las tormentas. El grado de cambio que puede ocurrir es incierto y la variabilidad natural de los patrones climáticos normales puede hacer cualquier tendencia difícil de establecer.

Estos cambios climáticos, si no se mitigan por las acciones de todo el planeta, podrían tener un efecto significativo en las redes de carreteras. Los Socios ROADEX consideran prudente considerar qué se puede hacer ahora para hacer frente a los efectos que se observan en vez de ignorar el tema por completo.

Hacer frente a las circunstancias cambiantes en la construcción de carreteras y el mantenimiento de estas no es nuevo. Los gerentes y las operaciones de carreteras han tenido tiempo para reaccionar y adaptarse a las cambiantes demandas y desafíos planteados por las redes de carreteras y los usuarios de la carretera. La gestión de los efectos del cambio climático no debe ser diferente a este aspecto. Deben ser capaces de ser igualmente respondidas, paso a paso, para cumplir con las circunstancias en el momento.

En la evaluación de la vulnerabilidad de la infraestructura a los efectos del cambio climático se recomienda que las evaluaciones se llevan a cabo de acuerdo con el proceso de 5 pasos AIPCR:

- Paso 1: Identificar los posibles efectos del cambio climático
- Paso 2: Evaluar el impacto del cambio climático sobre la vulnerabilidad de los elementos
- Paso 3: Evaluar los riesgos e identificar soluciones y estrategias para hacer frente a las vulnerabilidades potenciales identificadas
- Paso 4: Implementar los planes y estrategias de adaptación elegidas
- Paso 5: Monitorear y revisar

Otra información:

- Propietarios de carreteras enfrentándose con el cambio climático [29]
- Los impactos climáticos y la adaptación de las carreteras en el norte de Canadá [18]
- Una encuesta de modelos y algoritmos para el mantenimiento de carreteras en invierno. Parte II: Diseño del sistema para la eliminación de la nieve [42]
- El cambio climático y las posibles implicaciones para el Sistema de Transporte de California [13]
- Sistema de derretimiento geotérmico de nieve del Condado de Essex para cubiertas de puentes [43]
- Impacto del cambio climático en el hielo, carreteras de invierno y rutas de acceso en la primera nación de Manitoba [38]

2.6. TEMA 6. INFRAESTRUCTURA

Mauduit [44] escribió «*Impacto del cambio climático en el diseño de heladas y mantenimiento de invierno en Francia*».

El propósito de este trabajo fue cuantificar cómo cambiará el tratamiento de las carreteras para las heladas en Francia en el siguiente siglo, teniendo en cuenta el cambio climático. El trabajo se basa en la simulación del clima de la base de datos del proyecto francés IMFREX, que utiliza el modelo climático ARPEGE. El modelo simula la evolución del clima durante el siglo 21 bajo el escenario A2 del IPCC.

El documento comienza con la descripción de la situación de mantenimiento en la Francia de hoy antes de evaluar el cambio climático en Francia y luego analizar el impacto que el cambio climático tendrá sobre el mantenimiento en invierno en Francia.

Después de procesar datos de índices de nieve y heladas a nivel mundial, se muestra que las restricciones de invierno disminuirán drásticamente durante el próximo siglo, reduciendo la actividad de mantenimiento de invierno y, a su vez, reduciendo los costos. El informe sugiere que la actividad de mantenimiento de invierno disminuirá a la mitad para el final del siglo 21.

Otra información:

- Adaptación al cambio climático en la construcción, operación y mantenimiento de carreteras [45]
- Impactos climáticos extremos en los sistemas de transporte [46]
- Los impactos potenciales del cambio climático en el Transporte de los Estados Unidos [47]
- Evaluación nacional de las consecuencias de la variabilidad del clima y cambio en los Estados Unidos [48]
- Impactos del Cambio Climático en la Infraestructura de Transporte de Alaska [49]
- Impacto y adaptación al cambio climático: Caso de estudio de las carreteras en el norte de Canadá [50]
- Cambio Climático y Servicios de Carretera en Invierno [25]
- Modelo de profundidad de deshielo en tiempo real para la gestión de limitación de carga de ejes de descongelamiento [51]

3. COMPILACIÓN DE EJEMPLOS DE MEJORES PRÁCTICAS

Este capítulo identifica las mejores prácticas comunes y quizás las más eficaces.

En él se describen los métodos que se utilizan hoy en día con sugerencias sobre nuevos métodos sostenibles para el servicio de invierno.

El SICOP (Programa Cooperativo de Fondos para la Concentración de Hielo y Nieve) fue desarrollado por AASHTO (la Asociación Estadounidense de Funcionarios de Autopistas Estatales y Transporte) con tres objetivos principales:

- mantener o mejorar el nivel de servicio de mantenimiento en invierno con importantes mejoras de prestaciones/costos
- proporcionar un mayor nivel de sostenibilidad y protección del medio ambiente
- poner la tecnología al servicio de las secciones de mantenimiento operativo dentro de dos temporadas de invierno

En 1996 en el 4to Simposio Internacional sobre Remoción de Nieve y Tecnologías de Control del Hielo, se decidió crear una suscripción basada en la lista de correo de la comunidad de la nieve y hielo. En septiembre del 2013 un correo electrónico se envió a la « *lista del servidor de nieve y hielo* » [52] pidiendo a sus suscriptores compartir su lista de las diez necesidades de mantenimiento de invierno.

Se recibieron treinta respuestas en el primer día, y en total se recibieron casi 50 respuestas. La solicitud también fue enviada a los miembros de la AIPCR TC 2.4 y otras 15 respuestas llegaron de allí. En total fueron 181 respuestas e ideas diferentes. Después de agrupar las respuestas en cinco temas y un poco más de trabajo y discusión, fueron 11 temas los que construyeron la lista del top diez [53].

CUADRO 1 – EL TOP DIEZ PARA MANTENIMIENTO DE CARRETERAS EN INVIERNO [53]	
Tema	Votos (%)
Grupo A (Materiales, Sostenibilidad y Medio Ambiente)	
Una financiación adecuada para las operaciones y la sostenibilidad ¡Sin dinero no hay obras! O, más en serio, un programa de mantenimiento de invierno sostenible requiere niveles adecuados de financiación a largo plazo.	24.7
El uso de prácticas sostenibles de mantenimientos de invierno La sostenibilidad requiere equilibrar tres factores - economía, el medio ambiente y la necesidad pública. La construcción de un programa de servicio de invierno alrededor de estas tres columnas crea un sistema que puede proporcionar beneficios óptimos para todos.	19.8
Grupo B (Clima e Información)	
Previsión del tiempo exacto y oportuno Especialmente cuando se está siendo utilizado anticongelante por parte una agencia, los pronósticos precisos son muy importantes y deben ser entregados en un plazo que sea apropiado para que la agencia pueda tratar el tema de decisiones del personal.	26.2
Planeamiento de ruta óptima Con recursos limitados, obtener el máximo provecho de nuestros camiones es crítico. La optimización de rutas es una forma de hacer esto.	15.5
Grupo C (Equipo)	
Equipo y equipo de calibración Tener el equipo adecuado para dispensar productos para una tarea de mantenimiento de invierno dado es la mitad del problema. La otra mitad es asegurarse de que esté calibrado correctamente, para saber qué es exactamente lo que está haciendo.	22.0
Programa de mantenimiento de equipo (preventivo y rutinario) Asegurarse de que su equipo puede funcionar según sea necesario durante una tormenta requiere algún tipo de programa para realizar tanto al mantenimiento preventivo como el de rutina.	18.3
Grupo D (Operaciones y Tácticas)	
Eficiencia en las operaciones - uso inteligente de los recursos Cualquier agencia tiene un número finito de los recursos - camiones, personas, materiales, tiempo. El uso de esos recursos de la manera más eficiente posible es siempre un objetivo clave.	16.5
La comunicación entre los controladores y los controladores de operación Para un buen mantenimiento de invierno se debe tener una capacidad de respuesta para las condiciones cambiantes durante y después de una tormenta, y la buena comunicación entre los conductores y supervisores es fundamental para lograrlo.	9.4
Grupo E (Estrategias, Relaciones Públicas y Capacitación)	
Planes de Nieve (Incluye evaluación operacional/mejora continua) Un plan detallado para una agencia es una necesidad absoluta y debe ser la guía para todas las acciones antes, durante y después de una tormenta.	19.3
Normas del servicio de invierno ¿Qué estándares están tratando de lograr? ¿Son las normas que su comunidad requiere o se no les da o que necesitan?	9.6
Niveles definidos de servicio Se requieren que la mayoría de las agencias puedan proporcionar diferentes niveles de servicio en diferentes tipos de vías. Tener esos niveles de servicio bien definidos es una parte fundamental en un programa de mantenimiento de invierno.	9.6

3.1. MÉTODOS PREVENTIVOS

Concepto de mantenimiento preventivo

El mantenimiento preventivo puede ser un área clave para mejorar la eficacia del servicio de invierno, sobre todo en el uso de agentes de descongelantes/anticongelantes (sal y salmuera).

La reacción química creada cuando el cloruro de sodio se convierte en salmuera es endotérmica, tomando calor (energía) de los alrededores para crear la reacción. Es mucho más eficaz en términos de pérdida de calor aplicar la sal de una carretera como tratamiento preventivo en vez de tratar de eliminar el hielo una vez que se ha formado. Es necesario tener en cuenta que la sal es higroscópico y su aplicación a la carretera puede significar que la humedad sea superior durante más tiempo para que la carretera siga siendo amortiguada durante más tiempo.

Cabe recordar que el principal método de limpieza de la nieve es el arando y que el agente descongelante se utiliza para eliminar la capa no eliminada por la acción mecánica. Por último, el tráfico es necesario para ayudar con la limpieza de la nieve, nieve especialmente tratada. Sin embargo, lo opuesto puede ser el enemigo mediante la compactación de la nieve sobre la superficie de la carretera.

Dependiendo de los objetivos del servicio, varios modos de intervención pueden ser considerados por el propietario.

El objetivo de tratamientos preventivos es prevenir o limitar la formación de deslizamiento y disminuir el servicio de nieve o hielo. Elegir el tratamiento adecuado para las condiciones climáticas y la correcta sincronización de la intervención puede optimizar la eficacia del servicio, evitando tratamientos innecesarios y garantizando el uso de tratamientos adecuados.

Los tratamientos preventivos se pueden usar para prevenir la formación de hielo, ayudar con la descongelación de algunos tipos de nieve, evitar que la nieve se pegue a la superficie de la carretera o para apoyar la transformación de la nieve en polvo no cohesivo.

El propietario debe considerar qué estrategia se va a adoptar para el mantenimiento preventivo, pero una estrategia efectiva sólo puede ser realizada con organización y los recursos adecuados.

3.1.1. Sal líquida/húmeda

La sal pre humedecida es una solución estándar descongelante de carreteras tanto como una medida proactiva para reducir la acumulación de nieve y hielo en las carreteras en invierno. De este método se utiliza un esparcidor automatizado moderno, el cual está equipado con una cámara separada para la sal seca y un contenedor para la pre humectación del cloruro de sodio granular. La solución de pre humectación es o bien una solución de cloruro de sodio concentrado o una solución de cloruro de calcio. La proporción de pre humectación es normalmente 20 - 30 por ciento en peso de sal líquida y el resto es la sal granular seca. La porción de sal utilizada es de 5-20 g/m², dependiendo de las condiciones y la situación. La sal pre humedecida contiene la humedad inicial requerida para un mayor contacto con el hielo; en consecuencia, la reacción es más rápida que con sal seca. El pre humedecimiento aumenta el peso de los gránulos de sal, se une bien y reduce la pérdida durante la extensión en la superficie de la carretera.

A menudo, la mejor medida anticongelante proactiva es difundir sal líquida concentrada, ya sea cloruro de sodio o veces cloruro de calcio. Entonces serán suficientes cantidades mínimas para alcanzar un buen resultado. La pérdida de sal también se minimiza. Cuando se utiliza sal líquida como una medida proactiva, unos pocos gramos por lo general serán suficiente para cada metro cuadrado. La sal líquida se extiende en una capa uniforme y se diluye por la humedad en la superficie de la carretera. Si hay demasiada humedad en la superficie de la carretera, o va en aumento, por ejemplo, por precipitación, el proceso puede ser contraproducente y la superficie de la carretera podría congelarse.

3.1.2. Sal seca

El cloruro de sodio granular seco se puede utilizar como tal para la descongelación. Su patrón de propagación es difícil de controlar y se pierde material mientras se dispersa al borde de la carretera. La sal seca debe absorber la humedad antes de que pueda actuar como un agente de descongelación. Debido a la gran pérdida a través de este método, la difusión de la sal a menudo ha está prohibida. La sal seca es muy adecuada, por ejemplo, en nevadas y cuando el nivel de humedad en la superficie de la carretera es suficiente para disolver los gránulos de sal.

3.1.3. Materiales alternativos

Se ha dado recientemente el desarrollar de varias alternativas, con materiales no tóxicos para el ambiente más baratos y menos contaminantes. Una serie de productos se han hecho o preparado especialmente para su uso en el mantenimiento de invierno, muchos de ellos subproductos o residuos de otros procesos de fabricación.

Uno debe considerar cuidadosamente el uso de estos productos, en particular en relación con los costes y el efecto sobre el medio ambiente. El costo puede ser un factor dominante, pues ciertos productos son 10 a 20 veces más caro que el cloruro de sodio, que es el punto de referencia habitual. Los subproductos de procesos industriales pueden contener diversos componentes que pueden ser perjudiciales para el medio ambiente, como los metales pesados (de minería y manufactura) o grasas animales (de los procesos de tawing y bronceo).

Cuando uno utiliza productos específicos hay que considerar la cantidad necesaria que se utiliza, cómo se puede difundir efectivamente el material, qué tipo de maquinaria se debe utilizar y los resultados de la difusión que se pueden lograr.

Un ejemplo es el uso de virutas de madera, cuya densidad es de 100 kg/m³. Un camión de sal de 6 m³ sólo será capaz de transportar 600 kg de patatas fritas, los cuales, cuando se extienden en los 150 g/m² requeridos sólo puede tratar 4.000 m², excluyéndolos como alternativa eficaz y económica para carreteras. Habrá también el problema de limpiar el residuo después de su uso.

Al revisar el uso de estos subproductos una serie de puntos se debe tomar en cuenta; el efecto sobre el bio deterioro, la capacidad de fusión, el punto eutéctico, la granularidad, el contenido de agua, la presencia de metales pesados, el desliz inducido con ciertas concentraciones del producto, si es corrosivo y sus requisitos de almacenamiento. Todas estas características deben ser consideradas y relacionadas con el uso propuesto antes de ser introducidos en el plan del propietario para el servicio de invierno.

Para hacer estas consideraciones más fácil hay un comité europeo trabajando en el desarrollo de un conjunto de normas para la difusión y existe estándares franceses con información sobre este tema (NFP 98 181).

3.1.4. Arena

La arena humedecida caliente se ha utilizado durante varios años en Noruega. En el invierno de 2010-2011 y 2011-2012 un estudio sueco se hizo en el municipio de Umeå, Suecia [54] utilizando el método de senderos. El método de la arena mojada caliente es un método en el que el material lijado se mezcla con agua caliente mientras se propaga. Cuando la arena se encuentra con la superficie fría se congela a la superficie y no se esparce por el paso de vehículos.

En el estudio, la arena mojada caliente fue probada en pasarelas y senderos para bicicletas durante dos temporadas de invierno. Cuenta con un mayor nivel de fricción y tiene una duración más larga que la arena tradicional seca. El estudio también mostró que el número de acciones se puede reducir, por lo tanto reduciendo la cantidad de propagación de grano. El método era más eficaz en secciones con de pasos de bicicleta en las que el estado de la carretera es a menudo de hielo espeso. El principal problema con el método es que la arena se puede congelar en la tolva o el esparcidor a causa de las partículas graduadas finas de la arena.

3.2. ESPARCIDORES

Los vehículos esparcidores han sido desarrollados para o bien sal sólida; sal sólida y solución de sal (salmuera) combinada o sal de suelo y salmuera por separado.

Ha habido una gran cantidad de trabajo llevado a cabo en todo el mundo en la calibración de los esparcidores líquidos. El objetivo es garantizar que las lecturas de la difusión de los vehículos se correlacione con lo que se esparció en la carretera. La precisión y la optimización de las tasas de propagación y modelos de reducción de desperdicio e incremento de la sostenibilidad.

La calidad de la propagación de descongelantes está relacionada con el tipo de material y sus características, tales como la granularidad y contenido de agua, y el esparcidor de sal debe adaptarse en consecuencia.

El principio general de funcionamiento de una máquina de vertido de arena es la de un distribuidor centrífugo. Los granos de sal almacenados en una tolva se dirigen al distribuidor a través de ya sea un placa, una alfombra o cadenas con rasgadores de velocidad variable que controlan la dosificación media longitudinal y de salida. Las partículas se dirigen entonces a la parte superior de un disco giratorio provisto de cuchillas. El flujo no es continuo: el flujo de sal se corta por el paso de las palas. En cada cuchilla, los granos se aceleran en un movimiento centrífugo hasta su expulsión. La anchura de pulverización se regula moviendo el punto de inyección de material en el disco. En ciertos modelos, el número de distribuidores puede variar para adaptarse a la anchura de esparcido deseada.

La distribución en el suelo también se ve influida por los ajustes realizados en el esparcidor (pendiente, altura), las propiedades del material a ser diseminado (densidad, forma, granularidad, contenido de agua...) y las condiciones de propagación (movimiento del soporte proporcionado del esparcidor, camino perfilado, viento, humedad ...).

Las áreas en las que la calidad de la cruceta debe controlarse son:

- Tasa de propagación real en comparación con el diseño
- Anchura real de difusión en comparación con el diseño
- Configuración de la difusión (centrada, asimétrica)
- Patrón de propagación; longitudinal (paralelo a la dirección de avance de la portadora) y transversal (perpendicular) de las variaciones en la densidad de propagación a través de la zona de propagación.

La calidad de la sal o difusión de agentes anticongelantes/descongelantes tiene los siguientes efectos:

- En la seguridad vial y el flujo de tráfico; debe aumentar la seguridad y mejorar la circulación del tráfico
- En el medio natural, disminuye el impacto ambiental causado por la difusión de desperdicio
- Económico, mediante la optimización de la operación de las crucetas y la eficacia de la difusión en la calzada y mediante la reducción de los gastos de mantenimiento y reparación de la infraestructura, en particular, el de las estructuras.

El ajuste y un mejor conocimiento de las crucetas permiten:

- El cumplimiento de las normas y especificaciones de las personas a cargo del servicio de invierno
- Minimización del impacto de agente anticongelantes en el medio ambiente
- Evitar los errores en la difusión que tengan un impacto negativo en las existencias de sal (consumo excesivo por sobre esparcimiento)
- Confianza para el conductor en el funcionamiento de su máquina
- Registros más eficaces de tratamientos para contrarrestar reclamaciones de terceros
- Para las acciones responsables que deben adoptarse para garantizar la viabilidad invernal de las redes de carreteras.

En Europa una obra de la normalización se completó en las crucetas y fue publicada en enero del 2012 - CEN / TS 15597-2 «*Equipos de mantenimiento de invierno - Difundir las máquinas (máquinas desarenadoras) - Parte 2: Requisitos para su distribución y ensayo*».

3.3. ARADOS

Con respecto al desarrollo sostenible, hay tres aspectos a tener en cuenta: el medio ambiente, la seguridad de los operadores y los usuarios y los cambios en el enfoque y las normas de limpieza de nieve. El contexto económico se toma en cuenta en cada uno de estos aspectos. Los aspectos económicos de si debe o no tener un servicio de limpieza de nieve en invierno no se consideran en este documento.

3.3.1. Medio Ambiente

Al considerar quitanieves, estos pueden ser analizados en términos de impacto ambiental mediante la revisión de los siguientes aspectos: el consumo de energía (combustible, peso, energía para las partes móviles...), la calidad de los insumos, las emisiones a la atmósfera (gases de efecto invernadero) y si partes pueden ser recicladas.

El concepto emergente de Análisis de Ciclo de Vida (LCA) es una herramienta útil al considerar la sostenibilidad. El LCA de construcción está relacionado con el tipo de materiales utilizados (LCA de producción y transporte de los componentes, de fabricación, la longevidad y la posibilidad de reciclaje).

Es más difícil entender el impacto que los quitanieves tienen porque no son fáciles de evaluar. Un buen lugar para empezar es revisar el Plan de Servicios de Invierno (que abarca la estrategia, los niveles de servicio, los resultados y el enfoque de las comunicaciones) y el Plan de Mantenimiento de Invierno (que describe los recursos y métodos para hacer llegar la estrategia y los resultados):

- Calidad de arado a menudo depende de la cantidad de sal colocada para romper el enlace entre la carretera y la nieve. Un buen arado puede reducir la necesidad de la sal.
- La eliminación de la nieve puede mejorar el consumo de combustible de los vehículos en la carretera (algunas publicaciones estiman reducciones de 10 a 15%)
- La capacidad de la ruta puede verse afectada por el clima y por consiguiente aumentar el tiempo de viaje, que a su vez impacta sobre el consumo de combustible.
- Para reducir al mínimo el desplazamiento de la nieve (que puede, bajo ciertas condiciones, ser más eficiente para esparcir la nieve a los bordes)
- Para optimizar las rutas de arado para ahorrar tiempo de viaje entre las zonas de arado
- Para gestionar el almacenamiento de nieve, en particular, en el entorno urbano. El descongelamiento de la nieve que contiene sal puede tener un impacto negativo en los ríos, obras de tratamiento de aguas y herrería de carretera.
- Para administrar las almohadillas de nieve. Una almohadilla de nieve a lo largo de un camino pasará por diferentes fases de la evolución, incluyendo la regelación. El drenaje de hierro fundido que cubre la carretera puede promover la descongelación y generar la necesidad de nuevas intervenciones.
- Las salmueras generadas por nieve salada (líquido a temperaturas inferiores a 0 ° C) pueden tener un efecto perjudicial sobre el comportamiento mecánico de las carreteras y la frecuencia de mantenimiento.
- Dejar una capa de nieve en una carretera puede ayudar a aislar la superficie y evitar la congelación y la acción sucesiva de descongelación y, por lo tanto, reducir el impacto en la superficie.
- Mantener una capa de nieve en la carretera es una solución que debe ser considerada para ciertos niveles de servicio. Esto reducirá el número de intervenciones con uso de sales. Para ciertos sitios el concepto de «verde», camino blanco con intervenciones limitadas arado podría adoptarse.

Además, el diseño y el mantenimiento de una carretera deberían tener en cuenta el mantenimiento de invierno; un buen perfil longitudinal, por ejemplo, hará que sea posible la obtención de mejores resultados con arado y reducirá la necesidad de la sal. El diseño de las caídas transversales que eliminen las zonas que acumulan agua también ayudará.

Varias disposiciones se pueden implementar para minimizar el impacto de la nieve en un tramo de carretera, incluidos la elección de la superficie, geometría de la carretera o la instalación de dispositivos que limitan el impacto de las ventiscas.

3.3.2. Seguridad de los agentes y usuarios

El mantenimiento de invierno se lleva a cabo en condiciones difíciles, pero es imprescindible que a los operadores se les den los medios para llevar a cabo sus tareas en las condiciones óptimas de seguridad y tener el equipo correcto para las situaciones que encontrarán.

Además de procurar el equipo correcto para la tarea, es conveniente garantizar que el equipo se utilice correctamente (formación y cualificación) y tengan un mantenimiento adecuado. Estas cuestiones de seguridad deben darse no sólo durante las operaciones de invierno sino también en el montaje y desmontaje de los equipos.

Así que antes de la adquisición de cualquier equipo, se deben programar los requisitos con los criterios ya mencionados y comprobar que ofrezcan cada uno de estos requisitos. Antes de utilizar cualquier equipo se deberá cotejar con los reglamentos, las especificaciones requeridas, las recomendaciones técnicas y las buenas prácticas. La elección de los equipos de mantenimiento de invierno requiere de mucha atención al detalle.

Durante su vida operativa, cada parte del equipo debe ser revisada regularmente contra los requisitos originales y cualquier cambio en las prácticas.

Más allá de considerar la seguridad de los trabajadores, las intervenciones de remoción de nieve deben llevarse a cabo con la seguridad del público en mente. Esto puede significar; utilizando el tratamiento más eficaz, de alta visibilidad (color y la iluminación) de los vehículos de arado y la buena información que se da al conductor (signos electrónicos y mensajes de radio).

3.3.3. Evolución de las intervenciones

Remoción de la nieve

Los métodos de remoción de nieve han evolucionado notablemente en las últimas décadas. Las crecientes demandas del público, la introducción de políticas para los niveles de servicio, el impacto más frecuente de las tormentas y la obligación de prevención conducen a remover menores cantidades de nieve. Desde un punto de vista práctico, esto puede resultar en un grosor máximo aceptable de nieve en la calzada, lo que conduce a una mayor frecuencia de remoción. Si el nivel de servicio contempla la posibilidad de tráfico de camiones pesados esto puede reducir el espesor a un nivel aceptable, en particular en áreas con gradientes notables. Para satisfacer esta demanda hay una necesidad de cambiar a máquinas más rápidas y palas más ligeras, lo que va en contra de la tendencia actual de utilizar camiones más poderosos y pesados con cuchillas más pesadas.

La remoción de la nieve también ha cambiado en las zonas montañosas. Donde, hace unas décadas, los caminos fueron dejados «blanco», ahora tenemos estrategias que requieren que los caminos «vuelvan a negro», sobre todo en las rutas de acceso de las estaciones de esquí, lo que ha conducido a la introducción de agentes de deshielo y la necesidad de desarrollar buenas técnicas de arado de nieve. Los objetivos de limpieza de nieve ahora deben atenderse en períodos de intensa nieve y horarios específicos para restaurar la calzada de nuevo a un nivel de nieve al que los descongelantes puedan hacer frente. El diseño y la dotación de recursos de un servicio adecuado puede ser difícil, ya que hay pocas estadísticas relativas a la intensidad de la nieve a diferencia de los registros de lluvia.

Se están llevando a cabo actualmente proyectos de investigación para mejorar la comprensión del comportamiento de la nieve depositada sobre las calzadas que se puede utilizar para mejorar las técnicas de remoción de nieve.

Prevención de Hielo

Las técnicas para tratar con hielo en la calzada, su prevención y eliminación también se han desarrollado de manera significativa.

Las principales áreas de mejora incluyen:

- La toma de decisiones - el uso de sistemas informáticos como MDSS
- Esparcidores mejorados utilizando tratamientos mixtos de sal seca y salmuera
- Un mejor control de los patrones de propagación
- Difusión controlada por GPS
- Una mayor comprensión de la vida útil de los residuos (sal en la calzada)

3.4. MÉTODOS DE SOSTENIBILIDAD

3.4.1. Disposición de la nieve

Oslo, en Noruega, ha utilizado en los últimos dos años una instalación de derretimiento de nieve en el puerto para resolver los problemas de vertederos para las ciudades costeras de una manera eficiente y amigable con el medio ambiente. La planta derrite la nieve utilizando la energía obtenida a partir de agua de mar. Durante y después del proceso de fusión, el agua se limpia de todos los contaminantes como partículas sólidas, residuos de petróleo y metales pesados y el agua derretida limpia es drenada al Oslo Fjord.

3.4.2. Un enfoque integral y sostenible al servicio de invierno

En el 2008 la ciudad de Sherbrooke en Quebec, Canadá puso en marcha un cambio en su enfoque de la prestación de servicio de invierno. Todos los socios que participan en la prestación del servicio se hicieron responsables: de los oficiales electos a los ingenieros de mantenimiento, el público y los usuarios de la carretera. El objetivo era ofrecer un servicio sostenible.

Un plan de acción desarrollado incluía; niveles establecidos de servicio para condiciones de invierno diferentes, una campaña de medios para educar al público, explicando el enfoque y sus responsabilidades, un programa de educación por los operativos de invierno, la recuperación y reutilización de abrasivos y la creación de zonas libres de sal en caminos junto al lago y el río Magog. Estas medidas dieron lugar a una reducción en el uso de sal de más de la mitad, un ahorro de más de 10.000 toneladas al año.

3.4.3. El uso de sal en la Nieve

Los gestores de redes de carreteras saben que puede nevar en sus áreas y han trabajado con sus líderes políticos para definir los niveles de servicio, y se han elaborado planes para adaptarse. Los niveles de tráfico están en el punto de saturación en muchas redes en todo el mundo, por lo que un pequeño accidente o incidente, como un camión deslizante, puede

embotellar a las rutas. Para ayudar en la prevención de algunos países han elaborado estrategias interesantes, como el uso obligatorio de neumáticos de invierno y la prohibición de ciertas maniobras a los vehículos industriales de gran tamaño.

Las previsiones meteorológicas han mejorado y el monitoreo en tiempo real está disponible con imágenes de radar. Sin embargo, la diferencia entre la precipitación que cae y si es nieve o lluvia es muy fina, ya que es susceptible a pequeños cambios en las condiciones atmosféricas y subterráneas. La duración e intensidad de las nevadas son igualmente difíciles de predecir. También ayuda a conocer el estado de la superficie de las carreteras, en particular, la humedad en ella, el flujo de tráfico y cualquier sal residual.

Es posible llevar a cabo tratamientos preventivos para la nieve, asegurando que la nieve no se pegue a la calzada. Pero todas las condiciones anteriores deben tomarse en cuenta para llevar a cabo eficazmente un tratamiento preventivo y ninguno de ellos es fácil de medir o predecir. En la práctica es más una cuestión de temperatura de la carretera y si la nieve es húmeda y no de qué tan mojado está el camino. No se requiere nieve seca en un camino seco y frío, pues no se pegará. Sin embargo la aplicación de sal antes de una nevada puede tener el efecto contrario al deseado, se puede descongelar la nieve, aumentar el contenido de agua de nieve seca y ayudar en su compactación. Bajo la mayoría de circunstancias, la propagación de sal tiene el beneficio de reducir el punto de la humedad resultante de congelación y prevenir que la nieve se congele en la carretera. Para pequeñas cantidades de nieve pueden ser suficiente para descongelar todo el manto de nieve y despejar el camino.

¿Por qué la sal por sí sola no es la respuesta?

Debido a que uno necesitaría demasiada sal.

Si se considera una densidad de la nieve de 300 kg/m^3 , 3,5 cm de nieve darán aproximadamente 15.000 g/m^2 de la cantidad equivalente en hielo.

Para una temperatura de la superficie de $-1 \text{ }^\circ\text{C}$ y para mantener la solución en un estado líquido, se necesitaría una solución (proporción entre agua y sal diluida) de aproximadamente 2,5% (ilustración 3).

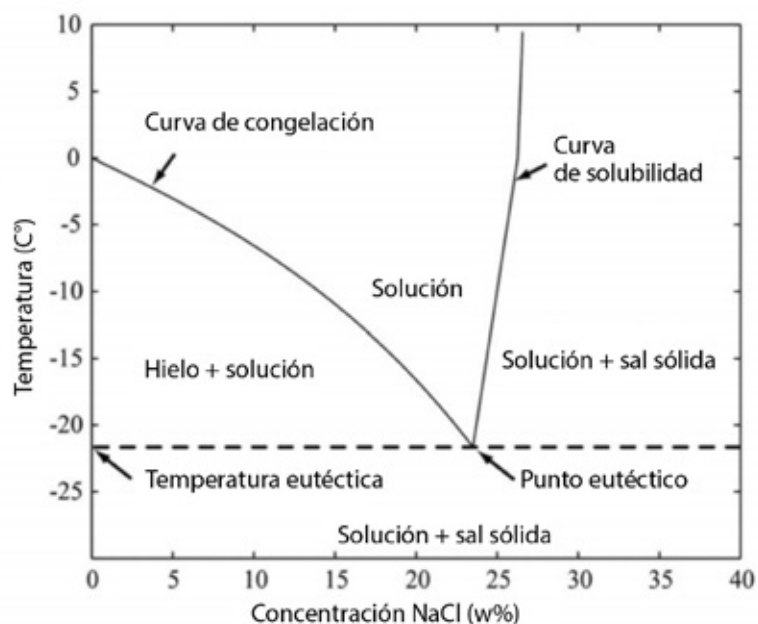


Ilustración 3 – Diagrama de fases para soluciones de cloruro sódico. Esquema [56].

Es decir aproximadamente $15.000 * 0.025 = 375$ g de NaCl por m² por sólo 5 cm de nieve y una temperatura de -1 °C, que no es una temperatura muy baja.

¿Por qué la sal va en contra de los objetivos en algunos casos?

Mediante la adición de sal a la nieve, la temperatura de la nieve baja, lo que puede conducir a la congelación de la nieve en vez de su descongelación.

La nieve y hielo se derriten y se congelan a 0 °C (a presión constante), pero si se añade sal, el punto de congelación baja. La temperatura más baja que el punto de congelación de una solución líquida de agua y la sal puede alcanzar es -21,1 °C, que se alcanza con una concentración de sal de 23,3%. Esto se llama el punto eutéctico. Concentraciones superiores a 23,3% llevan a una reducción en el efecto de descongelación de la salmuera, y la sal sólida y el hielo mezclados en la nieve la hacen más cohesiva en vez de descongelarla.

¿Qué hacer?

Es, por tanto, un intento poco realista derretir la nieve con sal, por lo que es necesario quitar la nieve. La forma más común es mecánicamente con un arado, una pala, cepillo, o un soplador. Después de arar una pequeña cantidad de nieve, a menudo esta queda en el camino, la cual también debe ser eliminada. El principio es entonces aumentar el contenido de agua de la nieve y usar el tráfico para ayudar a transportar el agua lejos a través de salpicaduras y rociarla en el medio ambiente circundante. Es por esto que se utiliza sal para derretir la nieve, dando un mayor contenido de agua y una cohesión reducida.

Si la nieve se mantiene después de varios pases con un arado, lo mejor es reducir la difusión de sal y tal vez incluso esperar hasta que la nevada haya cubierto a la sal, de lo contrario los arados quitarán la sal en la siguiente pasada. Entonces puede ser mejor esperar hasta que la nevada se detenga antes de la echar la sal para eliminar lo último de nieve o hielo de la carretera.

Establecer instrucciones de mantenimiento puede ser relativamente complicado, es necesario:

- explicar el mantenimiento preventivo (economía total, el medio ambiente, el costo por el servicio, criterios de eficacia, adecuación a los niveles de servicio y materiales disponibles, etc.)
- explicar los diferentes niveles de servicio
- tener en cuenta la experiencia de los contratistas e involucrarlos en el desarrollo de instrucciones (reglas)
- explicar por qué ciertas situaciones deben tratarse de manera específica
- enfatizar la importancia de quién es responsable de que
- transcribir instrucciones y ponerlas a disposición para aquellos que los necesitan
- crear condiciones para asimilar experiencias.

3.5. EQUIPO DE SEGURIDAD DEL VEHÍCULO - NEUMÁTICOS DE INVIERNO

Los requisitos legales sobre el uso de neumáticos de invierno difieren entre los países. En Finlandia, Suecia y Noruega, los Países Bálticos y Eslovenia, el requisito es que los neumáticos de invierno deben instalarse durante los meses de invierno. Suiza y Austria tienen requisitos especiales en el perfil de profundidad de los neumáticos durante la temporada de invierno. Las regulaciones alemanas requieren neumáticos «apropiadas», pero no especifican más que eso.

En Europa las tres categorías principales de los neumáticos de invierno son de uso común, neumáticos de invierno con clavos y dos tipos de neumáticos (sin clavos) regulares. Los dos tipos de neumáticos regulares de invierno son los neumáticos de invierno para carreteras nórdicas y los neumáticos de invierno para carreteras europeas. Los neumáticos de invierno nórdicos en general tienen propiedades comparables con los neumáticos con clavos durante la conducción en carreteras de invierno, excepto en hielo húmedo, cuando los neumáticos con clavos son mejor. Los neumáticos de invierno con clavos no se utilizan en las condiciones de Europa central, pues no son tan buenos como los neumáticos nórdicos en la nieve helada, pero tienen una distancia de frenado más corta en las carreteras desnudas. El Cuadro 2 muestra una comparación del desempeño de los tres tipos de neumático.

CUADRO 2 – LLANTAS: CÓMO ESCOGER EL TIPO DE LLANTAS DE INVIERNO. FUENTE: STRO [55]			
	Neumáticos con clavos	Neumáticos regulares (sin clavos)	
		Neumáticos nórdicos	Neumáticos europeos
Hielo líquido	*****	****	**
Hielo seco	*****	****	**
Nieve sólida	****	****	***
Fango	****	***	*****
Nieve suelta	****	****	***
Asfalto mojado	***	**	*****
Asfalto seco	***	***	*****
Estabilidad	****	***	*****
Comodidad	***	*****	****
Nivel de ruido	**	*****	****
	37 estrellas	37 estrellas	37 estrellas

El Instituto Sueco Nacional de Investigación de Carreteras y Transportes (VTI) [57] ha llevado a cabo pruebas comparativas de neumáticos de invierno en tres diferentes condiciones del hielo, hielo húmedo, hielo suave seco y hielo sólido seco. Los resultados muestran que, independientemente de las condiciones, los neumáticos de invierno con clavos son superiores a los neumáticos de invierno sin clavos en condiciones de hielo. Las diferencias de fricción son mayores en hielo y es menores en la superficie de hielo áspero.

¿Qué neumáticos son mejores para el medio ambiente?

Los neumáticos regulares de invierno son los mejores para el medio ambiente. Cuando se utiliza en las carreteras desnudas, los neumáticos con clavos crear más ruido y el desgaste de carreteras produce partículas que pueden dañar la salud humana. Partículas de neumáticos con clavos también contribuyen a contaminar el suelo y el agua subterránea de las carreteras. Las partículas crean un ambiente más sucio que lleva a un aumento en el consumo de líquido lavaparabrisas y detergente. La necesidad de mantenimiento de carreteras aumenta, lo que resulta en un aumento de las emisiones de dióxido de carbono. Los neumáticos con clavos tienen también una resistencia a la rodadura ligeramente superior, lo que lleva a un mayor consumo de combustible y el aumento de las emisiones de carbono.

¿Si tengo el Programa Electrónico de Estabilidad (ESP) o Control Electrónico de Estabilidad (ESC) en el vehículo, qué importa lo que los neumáticos elijo?

La introducción del Control Electrónico de Estabilidad en los vehículos, de acuerdo con todos los informes, resultó en una disminución en el número de accidentes de tráfico. Un sistema de

control de tracción a menudo puede ayudar al conductor con un derrape, pero para que esto funcione debe haber una adherencia suficiente del neumático para frenar. Si es demasiado resbaladizo o si los neumáticos son malos en cuanto al sistema de control de tracción, pueden ser prácticamente ineficaces. Un sistema de control de tracción por lo tanto nunca debe ser considerado como un sustituto de buenos neumáticos.

Neumáticos con clavos

Varios países con un clima de invierno tienen restricciones sobre el uso de neumáticos con clavos, por ejemplo en Alemania, Japón y muchos estados de EE.UU. hay una prohibición total de neumáticos con clavos. En Suiza no les permiten usarlos en las carreteras principales y no a más de 80 km / en otras carreteras. En Suecia, algunas ciudades tienen reglamentos que prohíben neumáticos con clavos en algunas calles. Las ciudades noruegas de Oslo, Bergen y Trondheim, cobran una tarifa especial para los usuarios.

3.6. INFORMACIÓN PARA USUARIOS DE CARRETERAS

3.6.1. Información de tránsito

No es sólo la infraestructura y las actividades de operación y mantenimiento que permiten el flujo seguro y sin problemas de tráfico, la información de tráfico también tiene un papel importante. El papel de la información de tráfico es aún mayor en malas condiciones meteorológicas y en las largas noches oscuras de invierno, a pesar de que siempre es importante proporcionar al público con buena información. La información de tráfico puede ser estática, como los límites de altura y las restricciones de peso. Este tipo de información estable debería ayudar a usuarios de carreteras en planificar su viaje y a los vehículos pesados, especialmente para planificar sus rutas de transporte. En Finlandia, esta información está disponible en un mapa en Internet.

Parte de la información de tráfico cambia rápidamente, como la relativa a la congestión, los accidentes, las señales de tráfico defectuosas y los túneles cerrados. Parte de esta información es útil tenerla antes de un viaje, y se puede utilizar para decidir sobre una ruta y el momento de un viaje. Es especialmente importante pasar esta información al vehículo y al conductor, lo cual puede ser realizado por cualquier combinación de los servicios de navegación por satélite, tráfico, información de la radio, medios sociales y señales de información de carreteras distintas. La información puede ayudar a prevenir una mayor congestión, evitar sorpresas y nuevos accidentes.

3.6.2. Información de condición de la carretera

Para reducir al mínimo los efectos negativos de condiciones de la carretera y cambios repentinos e inesperados, la información sobre el clima de la carretera es esencial. El sistema de información sobre el clima en la carretera y las cámaras atmosféricas de carreteras están destinadas principalmente para los profesionales de la carretera, para ayudar en las decisiones de clima severo y proporcionar información sobre el tráfico. Al tener acceso abierto al clima de la carretera, la cámara de ruta debe darnos de datos e imágenes y otros proveedores de servicios pueden procesar los datos, con lo que puede agregarle valor. Es por ser accesible al público que pueden ayudar en la toma de decisiones de los conductores y ayudarles a entender las decisiones de los profesionales de mantenimiento de invierno. Muchos usuarios

profesionales de carretera están interesados en ver los datos del clima de la carretera y planificar sus viajes y otras actividades relacionadas con el clima. También las imágenes climáticas de las carreteras son de valor de entretenimiento, por ejemplo, las imágenes de carretera de las cámaras finlandesa son vistas en todo el mundo.

3.6.3. Información de volúmenes de tráfico, velocidades promedio y duración estimada de viajes

Esta información es importante para la elección de la ruta y el tiempo del viaje. Al igual que la demás información, puede ser utilizado antes del viaje, donde su impacto es mayor, o durante el viaje, donde puede dar la fiabilidad del trayecto al conductor. Para los grandes retrasos previsible, como los de los grandes movimientos de tráfico por vacaciones o grandes obras viales, la información puede ser publicada con días de antelación.

3.6.4. Mapas, navegadores y guía de rutas

Hay muchas maneras de proporcionar información; mapas impresos, mapa en software y aplicaciones, aplicaciones de ruta y navegantes. Ha habido un rápido cambio entre los mapas impresos y desarrollos móviles, los cuales continuarán y vamos a ver muchas nuevas herramientas en el futuro. Restricciones de altura y peso, sitios de trabajo en carreteras, trabajos de mantenimiento, condiciones de la carretera, todos deben ser parte de la guía de rutas electrónica y en el futuro podríamos ver que hay otros desarrollos, como diferentes rutas para vehículos con neumáticos con clavos y vehículos con neumáticos nórdicos.

3.6.5. Información de la red de carreteras, la política de mantenimiento de carreteras, las clases de mantenimiento y los proyectos de inversión

Más información general es útil para muchas partes interesadas, socios de cooperación, estudiantes, medios de comunicación y el público. La información clave debe estar fácilmente disponible en Internet. La información que puede ayudar a explicar y justificar las políticas elegidas y mantener informado al público puede reducir las quejas.

3.6.6. Guías y formularios electrónicos

Las transacciones electrónicas ya están al menos parcialmente en uso en diferentes tipos de permisos, licencias y compensaciones por daños. Un proceso electrónico y automatizado reduce el trabajo manual y asegura que toda la información pase por el proceso de cambios. Hasta la fecha, el punto de fricción ha sido el problema de la firma electrónica. Se ha avanzado en Finlandia, pero todavía no está completamente resuelto.

3.6.7. Preguntas más frecuentes (FAQ)

Proporcionar respuestas útiles a las preguntas más frecuentes puede conducir a un menor número de reclamaciones y clientes menos frustrados. Responder a las consultas de los clientes amarra recursos y todas las formas de hacer los procesos más eficaces son bienvenidos. Es muy importante tomar y manejar respuestas a los clientes y es una manera útil de recoger la opinión del cliente. La buena información es una parte esencial de la satisfacción del cliente, pero, sobre todo en invierno, mucha gente tiene las mismas. Las herramientas móviles para la

toma de las consultas de los clientes y para informarles de las actividades en curso reducen la incertidumbre, y algunas ciudades ya han introducido este tipo de solución móvil.

3.6.8. Información de contacto y canales de retroalimentación de usuarios de carreteras

Los usuarios de carreteras y las partes interesadas a menudo tienen preguntas y opiniones sobre el mantenimiento de carreteras y el estado de la red vial. Por lo general, esta información se presenta en forma de una queja, aunque a veces puede ser positivo. Debe haber una forma sistemática de recolección y manejo de comentarios de los usuarios de carreteras. La retroalimentación puede dividirse en categorías, tales como; preguntas, iniciativas, quejas, informes del estado de la carretera y otra información más general. Para algunos de estos comentarios es importante para reunir la información 24/7 (por ejemplo, los obstáculos en el camino, árboles caídos, inundaciones y grandes o profundas nuevas baches en el asfalto), otros comentarios más general puede ser procesada en el horario normal de trabajo. También los sistemas en línea, internet o correo electrónico pueden ser útiles para la recepción de consultas durante todo el día.

Una cuestión a considerar es si se debe dejar que el cliente trate directamente con el contratista o si el cliente hacer todas las llamadas y que el responda contratista. En algunas áreas, como Finlandia, hay un centro de atención al cliente para hacer tratar con todas las dudas.

3.6.9. Información en seguridad

La seguridad vial está estrechamente entrelazada con el mantenimiento de invierno. Para habilitar un flujo seguro y tranquilo de tráfico, los usuarios de carreteras juegan un papel importante y pueden hacer sus vehículos más o menos seguros con la elección de sus neumáticos, las luces y el uso del cinturón de seguridad. Muchos usuarios de la vía están realmente interesados en las cuestiones de seguridad de tráfico y es esencial que cualquier hecho, estadística, investigación y estudio sean puestos a disposición de todos aquellos que estén interesados. Hay muchas maneras diferentes de difundir esta información, a través de; organizaciones profesionales de conducción, la policía, las escuelas de conducción, los estudiantes y los medios de comunicación. Algunos países pueden tener una organización de seguridad del tráfico por separado para crear, publicar y difundir esta información. Los profesionales de mantenimiento de invierno deben trabajar en estrecha colaboración con estas organizaciones.

3.6.10. Información sobre los vehículos y cómo hacerlos seguros

No se trata sólo de ofrecer al público las estadísticas y la información general que se describe en el capítulo anterior, pero también trata de dar consejos prácticos y respuestas a preguntas tales como:

- ¿Cómo cuidar del vehículo para que sea seguro? (Chequeos regulares y mantenimiento)
- ¿Cómo limpiar el coche? (Para ver con claridad y ser visible y para evitar la corrosión)
- ¿Cómo conducir con eficiencia energética? (frenado cuidadosamente y manteniendo una velocidad constante)
- ¿Cómo y cuándo debo ser consciente de los animales? (como alces en la primavera y el otoño en crepúsculo)

- ¿Qué hacer cuando se reúna con el equipo de mantenimiento? (No dejar pasar al quitanieves, tener mucho cuidado con el paso de otras máquinas de mantenimiento, no conducir demasiado cerca del esparcidor de sal)

3.7. SUGERENCIAS SOBRE NUEVOS MÉTODOS Y SOSTENIBLES PARA EL SERVICIO DE INVIERNO.

Ha habido algunos estudios sobre cómo la información meteorológica vial afecta a los costes de mantenimiento de carreteras en invierno [58-60].

Riehm y Nordin [58] mencionan como una sugerencia para ahorrar energía cambiar la temperatura del aire y sensores de humedad a un sensor para la temperatura del punto de rocío para reducir al mínimo los errores de advertencia de las estaciones remotas RWIS que puede realizar a muchas advertencias innecesarias.

Vosotros et al. [59] utilizaron un método que combina las redes neuronales con el análisis de sensibilidad para identificar las variables de entrada más valiosos que tienen un efecto sobre los costos y estudiaron cómo la información del clima puede afectar los costos de mantenimiento en invierno. Sus resultados mostraron que con el aumento del uso de la información del clima los costos de servicios de invierno podrían reducirse.

Una forma de medir la eficiencia energética de un método de mantenimiento de invierno es medir el tiempo que tarda el camión para despejar la nieve después de una nevada. Recientemente ha habido un aumento en las innovaciones de arado de nieve y un ejemplo de Suecia es, «Miljöplogen» o el arado responsable (*ilustración 4*). Cuenta con un borde de corte de plástico en vez de acero, por lo que es más ligero en comparación con los arados tradicionales, dando la capacidad para conducir una velocidad más rápida, manteniendo los mismos resultados. [61].



Ilustración 4 – “Miljöplogen” con bordes de acero olofsors.
Foto: staffan möller. Vti

Otro camión de arado que puede ser más eficiente es el TowPlow (*ilustración 5*). El beneficio del TowPlow es que incrementa la eficiencia y la producción, ya que se necesitan menos vehículos, lo que lleva a una disminución en el uso de combustible y un menor impacto sobre el medio ambiente. El lado negativo puede ser el tamaño y que puede ser percibido como un obstáculo en el tráfico.



Ilustración 5 – Towplow americano.
Foto: de www.Towplow.Com

4. LISTADO DE TECNOLOGÍAS EXISTENTE Y EN CIERNES PARA AYUDAR EN LA MEDICIÓN Y EVALUACIÓN DE LAS OPERACIONES DE INVIERNO

4.1. FRICCIÓN DE LAS CARRETERAS

4.1.1. Cambio en fricción de las carreteras

El siguiente texto es una cita de Bulevičius et al. [62]

Método de medición

Un tramo de prueba fue construido en la carretera No. 107 Trakai-Vievis (14,32-15,4) km para estudiar el impacto de los diferentes SRM (materiales de reducción de resbalamiento) en el cambio de deslizamiento de las carreteras en invierno. Dos SRM utilizados tradicionalmente en Lituania se extendieron en tres secciones de prueba; se midió y analizó el cambio en deslizamiento bajo las mismas condiciones ambientales.

Se utilizó un sensor óptico móvil SRM 411 (*ilustración 6*) durante el experimento para medir el coeficiente de fricción superficial de la carretera y el espesor de la capa de agua. La medición de deslizamiento en la carretera se realizó mediante el uso de un teléfono móvil (*ilustración 7*) y el medidor de fricción μ Tec, que tiene la facilidad de enviar los resultados en tiempo real a un servidor indicado.



Ilustración 6 – Sensor óptico de movimiento RCM 411.

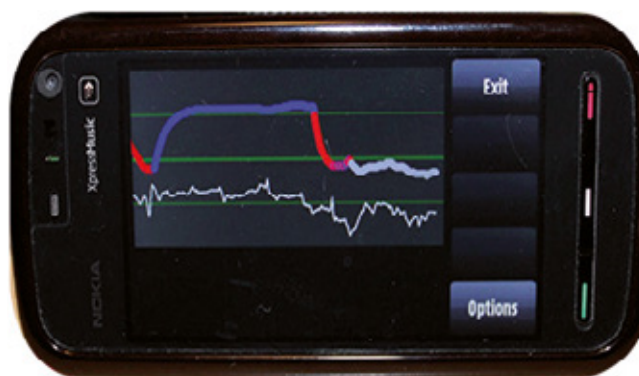


Ilustración 7 – Medición realizada usando un celular.

Resultados de la prueba de la medición del cambio en deslizamiento carretera

Las mediciones se realizaron en distintas condiciones meteorológicas y condiciones de superficie de la carretera. Los materiales de mantenimiento de invierno tradicionales y las pruebas de materiales de derretimiento hielo fueron propagados en el camino para la realización de la mediciones de acuerdo con los requisitos de Lituania. Los materiales se extendieron sobre la carretera al mismo tiempo. La mediciones de fricción de la superficie de las carreteras fueron tomadas antes e inmediatamente después de la difusión de los materiales de derretimiento del hielo y continuaron en intervalos de tiempo iguales hasta la activación completa de los materiales (coeficiente de fricción $\geq 0,80$). Se observó un aumento en la fricción superficie de la carretera inmediatamente después de la difusión de SRM.

Los resultados de medición mostraron una gran diferencia, debido no sólo al SRM probado, sino también a muchos factores locales. Por lo tanto, no hay ninguna conclusión precisa que se pueda dar sobre la eficiencia del SRM probado en el laboratorio en cuanto a la fricción superficial de la carretera en el medio natural.

4.1.2. Comparación de medidor de fricción

Malmivuo [63] hizo un estudio comparativo de medición de fricción en el 2011. Él probó seis medidores fricción y los dividió en cuatro tipos diferentes:

- Medidor de fricción de freno, que utiliza para medir la velocidad de deceleración de la rueda durante el frenado: Eltrip-45n
- Medidores de fricción de freno, que utilizan sensor de aceleración para medir la deceleración durante el frenado: gripman, μ TEC y Eltrip-7k
- Medidores ópticos de fricción: DSC111 y RCM411
- Medidores mecánicos de fricción: T2GO

Los medidores fueron probados tanto en carretera como en pistas de prueba. Según el estudio, Eltrip-45n y Gripman eran lo suficientemente precisos para ser utilizado en invierno en el control de calidad de mantenimiento en Finlandia. Sin embargo, μ TEC y Eltrip-7k mejoraron después de las pruebas y fueron aprobados para el control de calidad de mantenimiento de invierno un año después. Los medidores ópticos fueron prometedores y trabajaron mejor en las condiciones de carretera reales que en las pistas de pruebas artificiales.

Los resultados de estas pruebas conducen al desarrollo de la especificación de la exactitud y fiabilidad de los medidores de fricción a ser utilizados en invierno en el control de calidad de mantenimiento. En el futuro, el fabricante de medidores estará obligado a demostrar la conformidad con la especificación si quieren que su medidor sea utilizado en el control de calidad de mantenimiento de invierno de las carreteras de Finlandia.

4.1.3. Estudio de comparación de medidores ópticos de fricción y de temperatura

El objetivo del estudio en 2013 por Malmivuo [64] fue evaluar la precisión y funcionalidad de los medidores de fricción ópticos como herramienta de apoyo para el control de calidad de vialidad invernal. Además, el estudio analizó la exactitud de otras variables climáticas de carretera (carretera de tipo meteorológico, carreteras y la temperatura del aire, punto de rocío, humedad del aire) registradas por los medidores. Los objetos del estudio fueron el medidor

óptico de fricción RCM411 por Teconer Ltd y el medidor óptico de fricción DSP310 por Vaisala (*ilustración 8*).

Según el estudio, los medidores ópticos ayudaron a observar situaciones de hielo especialmente negro y, por tanto los medidores pueden ser recomendados como una herramienta de apoyo para el control de calidad de mantenimiento de invierno. Sin embargo, las exigencias de precisión para el control de calidad de mantenimiento de invierno son extremadamente altas, ya que los niveles de fricción medidos se pueden utilizar como base para sanciones. Por lo tanto el medidor de fricción de freno siempre se debe utilizar para verificar las mediciones ópticas en situaciones en las que dispositivos ópticos indican fricción cerca de o por debajo de las demandas de fricción.



Ilustración 8 – Objeto de estudio: medidor óptico de fricción vaisala dsp 310 (arriba) y medidor óptico de fricción teconer rcm411 (abajo). Los celulares actúan como pantalla e interfaz de usuario en ambos dispositivos.

La agencia de transporte finlandesa y TeliaSonera comenzaron un estudio de exploración con vehículos «Tiempo de ruta de piloto FCD» en 2012. La flota de vehículos se compuso de 150 vehículos que operaron en el sur de Finlandia. El ABS y activación ESP/ESC de los vehículos se reconoce y la información información (con GPS de posicionamiento y marca de tiempo) se transfiere inmediatamente a la base de datos central. El proyecto también incluye la interfaz de usuario para seguir el ABS y observar ESP/ESC en el mapa (*ilustración 9*). La idea del proyecto es que los sistemas ABS y ESP/ESC se activen más a menudo en lugares más resbaladizos. Los usuarios son los centros de control de tráfico y operadores de mantenimiento. El proyecto está todavía en curso (otoño de 2014).

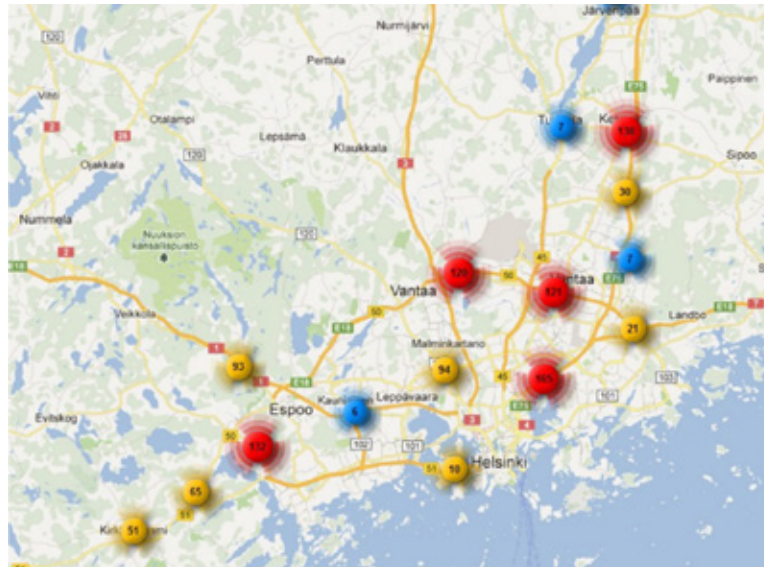


Ilustración 9 – Mapa indicando la activación en tiempo real de abs y esp/esc de los carros de exploración.

4.1.4. Estudio comparativo de dispositivos de medición de fricción

Takahashi et al. [65] escribió lo siguiente: Ya que el invierno crea condiciones de camino peligrosas por usuarios de la vía, se requiere que los administradores de la carretera entiendan correctamente las condiciones de la calzada. Un enfoque para determinar el estado de la superficie de la carretera implica medir la fricción superficie de la carretera, y el Instituto de Investigación en Ingeniería Civil en Regiones Frías (CERI) ha estado realizando dicha medición de fricción utilizando un probador de la fricción continua (CFT), que es capaz de obtener los valores fricción de forma continua en las carreteras. Aunque el CFT permite la medición continua, no se puede medir la fricción cuando el vehículo está parado. Recientemente, un método indirecto utilizando un sensor óptico ha sido desarrollado. El sensor mide ópticamente el espesor de agua / nieve / hielo en la superficie de la carretera, y estima que el nivel de agarre. Dado que este método no requiere contacto entre un neumático y la superficie de la carretera, la medición es posible incluso cuando el vehículo está parado. Este estudio tiene como objetivo verificar la viabilidad de utilizar un sensor óptico para tales medidas, mediante la realización de ensayos comparativos entre el CFT y un sensor óptico en una pista de pruebas. Para comparar los valores de fricción obtenidos del CFT con los niveles de adherencia determinados por el sensor óptico, un vehículo equipado con ambos dispositivos manejó en nieve seca, mojada, compacta y en delgadas superficies de hielo. Los valores de espesor de capa obtenidos por el sensor óptico se compararon con los medidos con una regla o con una medidor de profundidad de la Nasa. Mediciones adicionales se llevaron a cabo en superficies de hielo delgado tratados con sal o arena.

Conclusiones:

Ensayo comparativo # 1 (mediciones en superficies no tratadas)

- Los niveles de adherencia son generalmente consistentes para cada superficie y se corresponden estrechamente con el número fricción Halliday (valores HFN). La precisión es lo suficientemente buena para discriminar entre las diferentes superficies.
- El DSC111 tiene un desfase entre la medición y la salida. Se extiende de 4 a 10 seg. y no se ve afectada por la velocidad de conducción.
- Los niveles de adherencia no se ven afectados por la velocidad de conducción, mientras

que los valores de espesor de capa se ven influidos por la velocidad de conducción, especialmente en las superficies de nieve compactada y húmeda.

Ensayo comparativo # 2 (mediciones en superficies tratadas)

- El DSC111 parece captar los cambios en las condiciones de la superficie después del tratamiento de sal; sin embargo, los niveles de adherencia tienen una mala relación con los valores de HFN en las secciones tratadas con sal.
- No se encontraron tendencias claras para los cambios en los niveles de adherencia en las superficies tratadas con arenilla. Ya que el DSC111 mide ópticamente el espesor de agua / nieve/hielo en la superficie de la carretera, podría no ser capaz de evaluar adecuadamente las condiciones de la superficie tratada con arenilla.

4.2. DETECCIÓN DE CONDICIÓN DE CARRETERAS

4.2.1. RSI – Información de Estado de Carreteras

Bogren y Gustavsson [66] escribieron: ITS – las soluciones inteligentes de transporte son importantes en la sociedad de hoy en día con la demanda en la conducción segura y amigable del medio ambiente. Con la nueva tecnología RSI (Información de Estado de Carreteras), es posible optimizar el mantenimiento de carreteras, ofreciendo información precisa y completa a los contratistas y otros grupos de usuarios acerca de las condiciones del camino a lo largo de toda la red de carreteras. Con la información disponible dentro de los vehículos modernos combinados con modelos y datos de RWIS – los sistemas de información meteorológica de la carretera hacen que sea posible encontrar soluciones para la detección de diferentes tipos de necesidades de mantenimiento de carreteras en áreas tales como:

- Carreteras en condiciones de invierno
- Fuerza de rodamiento
- Calidad de pavimento
- Contaminación del aire

El FCD (datos de vehículos en movimiento) de los vehículos y la información meteorológica de carreteras de RWIS junto con los modelos de predicción meteorológica de carreteras hacen que sea posible determinar las condiciones de la carretera con respecto a deslizamiento y fricción entre las estaciones de campo. Otro uso es modelar y predecir el estado de la carretera de acuerdo a la fuerza durante los períodos de deshielo de congelación de una manera detallada y dinámica. La disponibilidad de los datos del vehículo aumenta la resolución espacial y temporal de los modelos de condiciones de la carretera y también hace posible la detección de cómo se comporta el vehículo y reacciona no sólo en condiciones de superficie relacionadas con el clima. Al tener acceso a los datos basado en vehículo también es posible detectar características tales como la calidad del pavimento a lo largo de las carreteras así como la calidad del aire en el ambiente.

4.2.2. FIRWE

La toma de decisiones en el mantenimiento de invierno se basa principalmente en los datos de las estaciones meteorológicas de carretera y la previsión del tiempo. La densidad de estaciones meteorológicas de carretera suele ser bastante baja, lo que deja largas secciones

de la red de carreteras al descubierto en lo que se refiere a condiciones de la superficie inicial. Por otra parte, la gestión eficaz de los camiones de mantenimiento debe basarse en datos medidos. En el proyecto FIRWE finlandés Arctic Machine y Teconer han puesto a prueba la integración de estas dos tareas para recopilar datos reales de los camiones de mantenimiento en tiempo real. Los datos basados en el lugar de recopilación incluyen hasta el momento hábitos de conducción, el consumo de combustible, el uso de arados frontal / lateral, acción de deshielo, la cantidad de materiales anticongelantes usados, estado de la superficie, la fricción, espesor de la capa de agua y la temperatura superficial. Los primeros resultados muestran resultados inesperados e interesantes. Por ejemplo, el tiempo de trabajo de arado y la acción de deshielo parece diferir de los registros tradicionales, así como al ralentí del camión de mantenimiento. Las mediciones en tiempo real dan la oportunidad de localizar a las acciones de mantenimiento de carreteras de invierno con mucha más precisión. La condición meteorológica inicial asumida basada en estaciones meteorológicas a menudo parece desviarse de mediciones móviles, que pueden explicar a una dramática elevación o descenso de dosificación de anticongelantes [67, 68].

5. CONCLUSIONES

El cambio climático afectará el mantenimiento de invierno, pero también el mantenimiento de invierno puede afectar el cambio climático, al menos en teoría. Así que tenemos que ajustar nuestra vialidad invernal para que estemos listos y flexibles a las demandas cambiantes que el cambio climático podría traer, como las tormentas de nieve y repentinos cambios de temperatura.

También hay que tratar de evitar los efectos negativos de vialidad invernal estableciendo exigencias ambientales, por ejemplo, limitando el uso de la sal o la limitación de las emisiones de los vehículos de mantenimiento de invierno.

Los efectos del cambio climático en el mantenimiento de invierno difieren en las distintas áreas. No es posible dar una solución o descripción que abarque al mundo entero.

6. FUTURAS ACTIVIDADES

El próximo comité técnico debería continuar este trabajo y estudiar efectos y soluciones más detallados en varias regiones del mundo.

Otro ejemplo es que el comité continúe trabajando con el tema del capítulo 4, «*Listado de las tecnologías existentes y en ciernes para ayudar en la medición y evaluación de las operaciones de invierno*».

En este informe, se presentaron algunas tecnologías, principalmente en relación con la medición de fricción. Todos los países que participan en el comité técnico del servicio de invierno podrían describir las tecnologías utilizadas en sus países.

7. GLOSARIO

En este capítulo se explican las abreviaciones usadas en este informe.

AASHTO	Asociación Estadounidense de Funcionarios de Autopistas Estatales y Transporte
ABS	Sistema de Frenos Antibloqueo
AR5	Quinto Informe de Evaluación IPCC
BIC	Centro de Información y Biblioteca VTI
CEN	Comité Europeo para la Estandarización
CERI	Instituto de Investigación de Ingeniería Civil para Regiones Frías
CFT	Controlador de Fricción Continua
CMA	Acetato de Calcio Magnesio
DOVH	Archivo de organización de viabilidad en invierno: plan de mantenimiento en invierno
EARWIG	Generador de Clima
ESC	Control de Estabilidad Electrónica
ESP	Programa de Estabilidad Electrónica
FCD	Datos de Vehículos en Movimiento
HFN	Número de Fricción de Halliday
IPCC	Panel Intergubernamental de Cambio Climático
ITS	Sistemas de Información Tecnológica
LCA	Evaluación de Tiempo de Vida (también conocido como Análisis de Tiempo de vida)
NASA	Administración Nacional de Aeronáutica y del Espacio
PEVH	Planos de Explotación de Viabilidad en Invierno: un plan de servicios de invierno
RCP	Trayectoria de Concentración Representativa (escenario de emisión IPCC)
RWIS	Sistema de Información de Clima en las Carreteras
SICOP	Programa Cooperativo de Fondos para la Concentración de Hielo y Nieve
SIRWEC	Comisión Internacional de Clima en las Carreteras
SRES	Informe Especial de Escenarios de Emisión IPCC
SRM	Materiales de Reducción de Deslices
UKCIP	Programa de Impacto de Clima de UK

8. REFERENCIAS

- [1] IPCC. «*Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*». [Stocker, T.F., D. Qin, G.-K. Plattner, M. Tignor, S.K. Allen, J. Boschung, A. Nauels, Y. Xia, V. Bex and P.M. Midgley (eds)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA p. 1535. 2013.
- [2] IPCC. «*Summary for Policymakers. En: Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*». [Stocker, T.F., D. Qin, G.-K. Plattner, M. Tignor, S.K. Allen, J. Boschung, A. Nauels, Y. Xia, V. Bex and P.M. Midgley (eds)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA. 2013.
- [3] IPCC. «*Climate Change 2014: Mitigation of Climate Change. Contribution of Working Group III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*». [Edenhofer, O., R. Pichs-Madruga, Y. Sokona, E. Farahani, S. Kadner, K. Seyboth, A. Adler, I. Baum, S. Brunner, P. Eickemeier, B. Kriemann, J. Savolainen, S. Schlömer, C. von Stechow, T. Zwickel and J.C. Minx (eds)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA. 2014.
- [4] IPCC. «*Climate Change 2014: Impacts, Adaptation, and Vulnerability. Part A: Global and Sectoral Aspects. Contribution of Working Group II to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*». [Field, C.B., V.R. Barros, D.J. Dokken, K.J. Mach, M.D. Mastrandrea, T.E. Bilir, M. Chatterjee, K.L. Ebi, Y.O. Estrada, R.C. Genova, B. Girma, E.S. Kissel, A.N. Levy, S. MacCracken, P.R. Mastrandrea, and L.L. White (eds)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA. 2014.
- [5] IPCC, COLLINS M., KNUTTI R., ARBLASTER J., DUFRESNE J.-L., FICHEFET T., et al. «*Long-term Climate Change: Projections, Commitments and Irreversibility*». [Stocker, T.F., D. Qin, G.-K. Plattner, M. Tignor, S.K. Allen, J. Boschung, A. Nauels, Y. Xia, V. Bex and P.M. Midgley (eds)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA. 2013.
- [6] SAARIKIVI P., GUSTAVSSON T., RAYNER D. 2009. Improved local winter index to assess maintenance needs and adaptation costs in climate change scenarios - Final Report [Online]. Disponible en: http://fudinfo.trafikverket.se/fudinfoexternwebb/Publikationer/Publikationer_001201_001300/Publikation_001225/ENR_SRO3_IRWIN_FinalReport_V1%5b1%5d.pdf [Accessed 23 January 2013].
- [7] ARVIDSSON A.K., BLOMQVIST G., ÖBERG G. «*Impact of Climate Change on Use of Anti-Icing and Deicing Salt in Sweden*». TRB International Conference on Winter Maintenance and Surface Transportation Weather. 30 April - 3 May. Coralville, Iowa, USA3-10, 2012.
- [8] ANDERSSON A.K., CHAPMAN L. «*The impact of climate change on winter road maintenance and traffic accidents in West Midlands, UK*», Accident Analysis & Prevention, 43: p. 284-9, 2011.
- [9] HULME M., JENKINS G.J., LU X., TURNPENNY J.R., MITCHELL T.D., JONES R.G., et al. «*Climate Change Scenarios for the United Kingdom: The UKCIP02 Scientific Report*». Tyndall Centre for Climate Change Research. School of Environmental Sciences, University of East Anglia, Norwich, UK p. 120pp. 2002.
- [10] TIMILSINA G.R., KRALOVIC P.R. 2005. Potential Effects of Climate Change on the City of Calgary: Adapting to a New Environment [Online]. Disponible en: http://www.imaginecalgary.ca/library/imagineCALGARY_Climate_Change_Megatrend_Paper.pdf [Accessed 23 January 2013].
- [11] RUOTOISTENMAKI A., MAKELA O., SIPILA J., VALKEISENMAKI A., SAVOLAINEN S., JYLHA K., et al. «*The effect of climate change on the routine and periodic maintenance of roads*», TIEHALLINNON SELVITYKSIA, FINNRA REPORTS, 3201122: p., 2009.
- [12] LOCKWOOD S.C. «*Operational Responses to Climate Change Impacts*», Transportation Research Board, 2008.
- [13] DUVAIR P., WICKIZER D., BURER M.J. «*Climate Change and the Potential Implications for California's*

- Transportation System*». The Potential Impacts of Climate Change on Transportation. 2003.
- [14] KOETSE M.J., RIETVELD P. «*Adaptation to Climate Change in the Transport Sector*», *Transport Reviews*, 32: p. 267-86, 2012.
- [15] CARMICHAEL C.G., GALLUS W.A., TEMEYER B.R., BRYDEN M.K. «*A Winter Weather Index for Estimating Winter Roadway Maintenance Costs in the Midwest*», *Journal of Applied Meteorology*, 43: p. 1783-90, 2004.
- [16] EIDSVIG U., KRISTENSEN K., SANDERSEN F. 2010. Risk management for roads in a changing climate, RIMAROC. [Online]. Disponible en: http://www.fehrl.org/?m=32&mode=download&id_file=10738 [Accessed 12 february 2013].
- [17] GRENDSTAD G., CEDR_WG_MEMBERS. "Adaptation to climate change". En: General CsS, editor. CEDR report 2013/07. Paris – La Défense, France. 2012.
- [18] TIGHE S.L., COWE FALLS L., HAAS R., MACLEOD D. "Climate impacts and adaptations on roads in Northern Canada". Transportation Research Board 85th Annual Meeting. 2006.
- [19] SAARELAINEN S., MAKKONEN V. "Adaptation to climate change in the road management. Preliminary study", TIEHALLINNON SELVITYKSIA, FINNRA REPORTS: p., 2007.
- [20] BRUN E. "Climate Change and its Impact on Road Conditions in Winter". 23RD PIARC WORLD ROAD CONGRESS PARIS, 17-21 SEPTEMBER 2007. Paris, France, 2007.
- [21] TRINKS C., HIETE M., COMES T., SCHULTMANN F. "Extreme weather events and road and rail transportation in Germany", *International Journal of Emergency Management*, 8: p. 207-27, 2012.
- [22] PARRIAUX A. "Roads and Climate Change in Mountainous Regions: Keeping a Cool Head When Resolving a Hot Issue", *Routes/Roads*, 338: p. 76-89, 2008.
- [23] HUDECZ A. 2012. Climate Change Adaptation - A Report on Climate Change Adaptation Measures for Low Volume Roads in the Northern Periphery [Online]. Disponible en: [http://www.roadex.org/uploads/publications/Climate%20Change%20Adaptation%20\(2012\).pdf](http://www.roadex.org/uploads/publications/Climate%20Change%20Adaptation%20(2012).pdf) [Accessed 12 February 2013].
- [24] ÖBERG G., LINDBOM L. "Climate change – Influence on roads Adaptation of roads administrations". Unpublished Report, Nordic Road Association NVF-41 Maintenance and operation, 2008.
- [25] THORDARSON S. "Climate Change and Winter Road Service". COST 353 Final Seminar. Bad Schandau, Germany, 2008.
- [26] CHAPMAN L., ANDERSSON A. «*Climate change and winter road maintenance: Will complacency be the new killer?*». 15th SIRWEC Conference. 5-7th February. Québec City, Canada, 2010.
- [27] FRENCH H.K., EGGESTAD H.-O., ØVSTEDAL J., JAHREN P.-E. «*Climate conditions and consequences for de-icing operations as exemplified by the situation on a motorway and airport at Gardermoen, Norway*», *Hydrology Research*, 41: p. 269-81, 2010.
- [28] HALTON I., LAVAL J. «*The Effects of Predicted Climate Change on Winter Service Operations*». 2009.
- [29] ADESIYUN A., PHILLIPS S., PHILLIPS L., VERHAEGHE B., WLASCHIN B. 2011. Road owners getting to grips with climate change [Online]. Disponible en: http://fudinfo.trafikverket.se/fudinfoexternwebb/Publikationer/Publikationer_001201_001300/Publikation_001248/ENR_Final_Report_Road_Owners_Getting_to_Grips%5b1%5d.pdf [Accessed 12 February 2013].
- [30] ANDERSSON A.K. "Winter road conditions and traffic accidents in Sweden and UK: present and future climate scenarios" [PhD-Thesis], Gothenburg, Sweden: University of Gothenburg, 2010.
- [31] GALBRAITH R.M., PRICE D.J., SHACKMAN L. 2005. Scottish Road Network Climate Change Study [Online]. Disponible en: <http://www.scotland.gov.uk/Publications/2005/07/08131510/15117> [Accessed 5 March 2013].
- [32] KOETSE M.J., RIETVELD P. "The impact of climate change and weather on transport: An overview of empirical findings", *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 14: p. 205-21, 2009.
- [33] MATSUZAWA M., HARADA Y., UEDA M., MATSUSHITA H., ITO Y. "Recent Trends in Changes in Snowfall

- and Snow Depth in Japan and Their Impact on Snow Control Measures*". TRB International Conference on Winter Maintenance and Surface Transportation Weather Coralville, Iowa, USA: Transportation Research Board, p., 2012.
- [34] SCHIPPER H. "Globale Ursachen - Regionale Folgen: Kuenftige Entwicklung des Winterwetters in Deutschland / Global causes; regional consequences: the future development of winter weather in Germany", Strassenverkehrstechnik, Forschungsgesellschaft fuer Strassen- und Verkehrswesen (FGSV), 56: p. 161-6, 2012.
- [35] PETERSON T., MCGUIRK M., HOUSTON T., HORVITZ A., WEHNER M. 2008. Climate Variability and Change with Implications for Transportation [Online]. Disponible en: <http://onlinepubs.trb.org/onlinepubs/sr/sr290Many.pdf> [Accessed 11 December 2012].
- [36] WALTERS C. 2009. The Effect of Climate Change on 3CAP's Highway Network Policies and Standards [Online]. Leicestershire County Council. Disponible en: http://www.leics.gov.uk/climate_change_adaptations.pdf [Accessed 3 March 2013].
- [37] BOUILLOUD L. 2010. Climate change and infrastructure (Changement climatique et infrastructures) [Online]. Disponible en: http://media.lcpc.fr/ext/pdf/sem/2010_jtr/atelier1/pres1_LB.pdf [Accessed 12 November 2013].
- [38] CENTRE_FOR_INDIGENOUS_ENVIRONMENTAL_RESOURCES. «Climate Change Impacts on Ice, Winter Roads, Access Trails, and Manitoba First Nations». 2006.
- [39] CHAUMONT D. «Evaluation of regional climate model simulations for winter transport-related information in the Saint Lawrence valley urban corridor». PIARC XIIIth International Winter Road Congress. Québec, Canada, 2010.
- [40] CULP M. «Federal Highway Administration's Strategy to Address Adaptation to Climate Change». PIARC XIIIth International Winter Road Congress. Québec, Canada, 2010.
- [41] NORDLANDER H. «What impact will climate change have on roads in Sweden and how to deal with it», Routes/Roads: p. 84-7, 2010.
- [42] PERRIER N., LANGEVIN A., CAMPBELL J.F. «A survey of models and algorithms for winter road maintenance. Part II: system design for snow disposal», Computers & Operations Research, 33: p. 239-62, 2006.
- [43] COUNTY_OF_ESSEX. 2009. Geothermal snow melt system for bridge decks [Online]. Disponible en: <http://www.tac-atc.ca/english/resourcecentre/readingroom/conference/conf2009/pdf/essex.pdf> [Accessed 12 february 2013].
- [44] MAUDUIT C., LIVET J., MARTIN E., DUVAL R., DUPONT O. 2008. Impacts of climate change on frost design and winter maintenance activities in France [Online]. Disponible en: http://www.viabilite-hivernale.equipement.gouv.fr/IMG/pdf/articleIscord875221-climate-change-1_cle1b7b33.pdf [Accessed 6 March 2013].
- [45] ARVIDSSON A.K., BLOMQVIST G., ERLINGSSON S., HELLMAN F., JÄGERBRAND A., ÖBERG G. «Climate change adaptation of road construction, operation and maintenance (Klimatanpassning av vägkonstruktion, drift och underhåll) Abstract in English». VTI Report 771. Linköping, Sweden. 2012.
- [46] LEVIÄKANGAS P., TUOMINEN A., MOLARIU R., KOJO H. «Extreme weather impacts on transport systems». VTT Working Papers 168. Finland p. 119p. 2011.
- [47] CALDWELL H., QUINN K.H., MEUNIER J., SUHRBIER J., GRENZEBACK L. 2003. Potential Impacts of Climate Change on Freight Transport [Online]. Disponible en: <http://climate.dot.gov/documents/workshop1002/workshop.pdf> [Accessed 9 October 2013].
- [48] MACCRACKEN M.C. 2003. National Assessment of the Consequences of Climate Variability and Change for the United States [Online]. Disponible en: <http://climate.dot.gov/documents/workshop1002/workshop.pdf> [Accessed 9 October 2013].
- [49] SMITH O.P., LEVASSEUR G. 2003. Impacts of Climate Change on Transportation Infrastructure in Alaska [Online]. Disponible en: <http://climate.dot.gov/documents/workshop1002/workshop.pdf> [Accessed 9 October 2013].

- [50] MCGREGOR R.V., HASSAN M., P, HAYLEY D. «*Climate change impacts and adaptation: Case studies of roads in northern Canada*». the 2008 Annual Conference of the Transportation Association of Canada. Toronto, Ontario, 2008.
- [51] THORDARSON S., JONASSON N., SVEINBJORNSSON E., THOROLFSSON A.H., BJORNSSON G.O. «*Real-time frost depth forecast model for thaw-induced axle load limitation management*». XIIIth PIARC Winter Road Congress. Quebec, Canada, 2010.
- [52] SNOW_AND_ICE_LIST_SERVER. 2014. The Snow and Ice List-Serve and Archive [Online]. Disponible en: <http://sicop.transportation.org/Pages/snowandicelist-Serve.aspx> [Accessed 2 September 2014].
- [53] NIXON W.A., NELSON R. «*Developing a top ten list for winter maintenance*». APWA North American Snow Conference. 4-7 May. Cincinnati Ohio, USA., 2014.
- [54] NISKA A. «*Varmsandning på gång- och cykelvägar : Utvärdering i Umeå av för- och nackdelar med metoden*». VTI Rapport 796. Linköping, Sweden. 2013.
- [55] STRO. 2014. Choice of winter tires [Online]. The Scandinavian Tire & Rim Organization. Disponible en: <http://stro.se/information/val-av-vinterdack/> [Accessed 27 August 2014].
- [56] KLEIN-PASTE A., WÅHLIN J. «*Wet pavement anti-icing — A physical mechanism*», Cold Regions Science and Technology, 96: p. 1-7, 2013.
- [57] NORDSTRÖM O. «*Nya och begagnade vinterdäcks isfriktion. Sammanfattningsrapport. Undersökning avseende inverkan av ålder, mönsterdjup, slitbanehårdhet, dubbutstick och dubbkraft*». VTI Meddelande 996. Linköping, Sweden. 2004.
- [58] RIEHM M., NORDIN L. «*Optimization of winter road maintenance energy costs in Sweden: a critique of site specific frost warning techniques*», Meteorological Applications, 19: p. 443–53, 2011.
- [59] YE Z., SHI X., STRONG C.K., GREENFIELD T.H. «*Evaluation of Effects of Weather Information on Winter Maintenance Costs*», Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board, 2107: p. 104-10, 2009.
- [60] MCKEEVER B., HAAS C., WEISSMANN J., GREER R. «*Life Cycle Cost-Benefit Model for Road Weather Information Systems*», Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board, 1627: p. 41-8, 1998.
- [61] MÖLLERS., GABRIELSSON G. «*Miljöplogen, Meirenplogen och Mähler sidoplog S45: test av egenskaper hos tre nya plogtyper*». VTI Rapport 661. Linköping, Sweden. 2010.
- [62] BULEVIČIUS M., MUČINIS D., ČYGAS D., LAURINAVIČIUS A., VAITKUS A. «*Materials and technologies for winter road maintenance in Lithuania*», Routes/Roads, 361: p. 61-7, 2014.
- [63] MALMIVUO M. «*Friction meter comparison study 2011*». En: Finnish Transport Agency IMaO, editor. 48/2011. Helsinki, Finland. 2011.
- [64] MALMIVUO M. «*Comparison study of optical friction and temperature meters*». En: Finnish Transport Agency IMaO, editor. 52/2013. Helsinki, Finland. 2013.
- [65] TAKAHASHI N., KIRIISHI M., TOKUNAGA R. «*Comparative Study of Friction Measurement Devices*». the 17th SIRWEC Conference. 30 Jan - 1 Feb 2014. La Massana, Andorra, 2014.
- [66] BOGREN J., GUSTAVSSON T. «*RSI - Road Status Information. A new method for detection of road conditions*». the 17th SIRWEC Conference. 30 Jan - 1 Feb 2014. La Massana, Andorra, 2014.
- [67] PILLI-SIHVOLA E., HAUTALA R. «*Measuring and predicting the condition of the road surface – tools for improving the efficiency of road network usage*». the 9th ITS European Congress. 4-7 June. Dublin, Ireland, 2013.
- [68] PILLI-SIHVOLA E., HAUTALA R. «*Realising the benefits of Finnish snow-how by turning it into products and services*». the 14th International Winter Road Congress, PIARC. 4-7 February. Andorra la Vella, Andorra, 2014.

9. ANEXO

Este anexo muestra todos los extractos de los artículos leídos:

Propietarios de carreteras enfrentando el cambio climático

(Adesiyun et al., 2011) [29]

Extracto:

“ERA-NET ROAD - Coordinación y Ejecución de la Investigación de Carreteras en Europa» es una Acción de Coordinación financiada por la EC. En el marco de esta acción, la llamada «Propietarios de carreteras enfrentándose con el cambio climático» fue lanzada como el primer programa de investigación conjunto financiado transfronterizo.

Cuatro proyectos fueron financiados en el programa de investigación:

- *IRWIN – Índice mejorado de invierno local para evaluar las necesidades de mantenimiento y los costos de adaptación en los escenarios de cambio climático.*
- *P2R2C2 - Rendimiento del pavimento y requerimientos del cambio climático.*
- *RIMAROCC - Gestión de riesgos de carreteras en un clima cambiante.*
- *PANTANO – Prevención de agua de tormentas - Métodos para predecir los daños causados por la corriente de agua dentro y cerca de los pavimentos de carreteras en las zonas bajas.*
- *Al concluir el programa, un evento final se organizó en Alemania en diciembre de 2010. Los resultados de este programa de investigación son una serie de informes que se centran en diferentes aspectos del cambio climático y sus efectos sobre la gestión de las redes viales nacionales.*

Este documento es el informe final de este programa de investigación.

Algunas de las recomendaciones claves son:

- *Garantizar que la evaluación de los riesgos del cambio climático sobre la infraestructura esté integrada en los procesos de gestión de riesgos más amplios de las autoridades viales (utilizando las herramientas y metodologías desarrolladas para apoyar este proceso); resaltar el beneficio de las herramientas en el apoyo al desarrollo de una base de datos robusta sobre los posibles impactos del cambio climático sobre la infraestructura. Las diferentes herramientas podrían aplicarse con flexibilidad por autoridades viales en función del contexto geográfico, el clima, etc., del país para explotar el valor de dicha base de datos a fin de aumentar la conciencia de los posibles costos del cambio climático para asegurar la cooperación de los tomadores de decisiones clave y ayudar a estos grupos a tomar decisiones informadas para mejorar eficazmente el futuro la capacidad de recuperación.*

Análisis/Comentarios:

Por lo menos en los programas de investigación muy útil, y este informe final, los países europeos dan información concreta de muchos proyectos. Se hizo un muy buen trabajo en, por ejemplo, el proyecto IRWIN, y el trabajo debe continuar.

Área/Tipo de Clima

Europa

Problemas de nieve, hielo, deslizamiento

Pavimento, tormentas

Impacto del clima y adaptación en los caminos del norte de Canadá

(Tighe et al., 2006) [18]

Extracto:

Los 900 mil kilómetros de carreteras de Canadá cubren una amplia diversidad de la geografía, las actividades, las características y el clima, con el clima que se caracteriza por 10 zonas. Dos de estas zonas cubren las áreas continuas y discontinuas de permafrost, pero todas han sido consideradas en la estimación de los efectos del cambio climático, en términos de aumento de las temperaturas, de factores incluyendo ciclos de congelación-descongelación, inundaciones y derrumbes, fallas de pendiente, la degradación térmica, la precipitación y formación de hielo. A su vez, se han estimado los resultados esperados de estos factores sobre el pavimento, grava y nieve y los caminos deteriorados por el hielo.

Los resultados van desde un mínimo hasta daños de manera definitivamente negativa en términos de deterioro acelerado y el aumento de los costos. Se han identificado algunas medidas de adaptación posibles y se proporciona una ilustración del caso de una zona climática cambiante desde mojado de alto congelación hasta mojado de bajo congelación con el aumento de los ciclos de congelación y descongelación. Esto bien podría ser el caso de una situación de las carreteras del norte como resultado del aumento de las temperaturas, y los resultados de la ilustración del caso indican que para caminos pavimentados, la vida útil podría reducirse entre 2 y 5 años.

Por último, se proporcionan sugerencias para la investigación sobre los efectos del cambio climático en las carreteras del norte, con las más altas prioridades relacionadas con el aumento de las temperaturas y el aumento de los ciclos de congelación-descongelación.

Análisis/Comentarios:

Especialmente interesante para expertos canadienses, pero buen conocimiento también para otros países en idénticas circunstancias climáticas.

Área/Tipo de Clima:

Norte de Canadá, varía desde templado en el sur a sub ártico en el norte.

Problemas de nieve, hielo, deslizamiento

Aumento de temperatura en permafrost y otras áreas del norte.

Adaptación del cambio climático en la gestión de carreteras. Estudio preliminar.

(Saarelainen and Makkonen, 2007) [19]

Extracto:

En los últimos años, varios incidentes meteorológicos excepcionales se han producido en Finlandia, como inundaciones y tormentas, causando inconvenientes y daños en el tráfico y el transporte. Una visión realista de la necesidad de mejora de las estructuras se puede conseguir si se estudian estos incidentes extremos para obtener información y datos sobre el desarrollo y los costos de los daños. Aplicación de métodos de investigación y de diseño puede ser probados en proyectos piloto documentados.

Se encontraron estas medidas de adaptación proactivas contra los efectos del clima en este estudio en Finlandia 2007:

- a. La planificación de contingencia (operaciones de rescate)*
- b. Adecuación de mantenimiento de carreteras (control de la fricción, la remoción de nieve, la protección contra inundaciones, control de erosión), etc.*
- c. Control de los criterios de diseño (viento, precipitación, niveles de inundación) y la mejora de las carreteras actuales para garantizar el nivel de servicio*
- d. Las mejoras en la fuerza de carreteras (mejora del drenaje, control de la erosión, aumentando los niveles de la superficie terrestre)*
- e. Necesidad de advertencias e información. Los fenómenos meteorológicos importantes deben ser advertidos de antemano*

En el estudio se presentan cambios más significativos en el clima en Finlandia en los próximos 100 años. En Finlandia, los efectos sobre el mantenimiento de invierno (de deshielo, las fuertes nevadas - tanto en la predicción como en las acciones operativas) son esenciales. Otras cosas importantes son el debilitamiento deshielo, las inundaciones y su gestión.

Análisis/Comentarios:

Especialmente interesante para expertos finlandeses, pero buen conocimiento también para otros países en idénticas circunstancias climáticas. Este fue el primer estudio de este tema en Finlandia. El trabajo se ha continuado después de este informe.

Área/Tipo de Clima:

Finlandia, templado frío; potencialmente sub árticas, pero comparativamente leves a causa de influencias moderadoras de la Corriente del Atlántico Norte, Mar Báltico y más de 60.000 lagos

Problemas de nieve, hielo y deslizamiento

Inundaciones, tormentas.

Los efectos del cambio climático en la gestión de rutina y periódica de las carreteras

(Ruotoistenmaki et al., 2009) [11]

Extracto:

El objetivo de este estudio ha sido el de descubrir cómo el cambio climático está afectando el mantenimiento rutinario y periódico de las carreteras y también evaluar los gastos de estos efectos. Además, el objetivo es presentar los cambios necesarios en las políticas directrices de mantenimiento. Los resultados se basan en una investigación de la información, el análisis de los efectos de dos inviernos cálidos (2006-2007 y 2007-2008) y estimaciones de expertos.

En Finlandia, la temperatura media se estima que aumentará más de 2 °C y la precipitación en un 5-10% en el año 2040. El invierno térmico y cubierto de nieve se va a acortar. La profundidad de las heladas va a disminuir de manera significativa a finales del siglo.

Los procedimientos de mantenimiento de invierno aplicados en Finlandia meridional están siendo transferidos a las partes más septentrionales de Finlandia todo el tiempo.

Las tormentas de invierno son cada vez más comunes, lo que aumenta la necesidad de la capacidad de limpieza de la nieve de corto alcance, pero en general, el número de remoción de nieve permanece igual o disminuye mientras que los inviernos son cada vez más cortos. La necesidad de descongelamiento es cada vez mayor en el oriente y el norte de Finlandia. La necesidad de usar sal, al parecer, va a disminuir sólo después de la mitad del siglo en curso. Debido al cambio climático, los costos de mantenimiento de invierno van a aumentar ligeramente.

Durante el invierno, las superficies desnudas son cada vez más comunes. Los inviernos cálidos y lluviosos aceleran el desgaste de los pavimentos. Los ciclos de congelación-descongelación crecientes aumentan el desgaste del pavimento y los defectos del pavimento están aumentando. Debido al aumento de las precipitaciones, el nivel freático se elevará, lo que reducirá la capacidad de carga de las carreteras de bajo volumen y acelerará el aumento de la altura de cresta en la red de carreteras de menor importancia. Las lluvias crecientes e inviernos suaves están complicando el debilitamiento estructural del deshielo.

Análisis/Comentarios:

Especialmente interesante para expertos finlandeses, pero buen conocimiento también para otros países en idénticas circunstancias climáticas. Sería interesante continuar con la evaluación comparativa de todos los estudios nacionales.

Área/Tipo de Clima:

Finlandia, templado frío; potencialmente sub árticas, pero comparativamente leves a causa de influencias moderadores de la Corriente del Atlántico Norte, Mar Báltico y más de 60.000 lagos.

Problemas de nieve, hielo y deslizamientos

Se necesitan más descongelantes

Respuestas operacionales a los impactos del cambio climático

(Lockwood, 2008) [12]

Extracto:

Este informe describe los impactos del cambio climático en las operaciones de transporte en los Estados Unidos y sugiere cómo las interrupciones relacionadas con el clima y las emergencias podrían ser parte de la operación de los sistemas y procesos de gestión. El punto de vista es principalmente de los Departamentos Estatales de Transporte (DOTs).

Un enfoque particular de este informe incluye la gestión de la congestión vial y la respuesta de emergencia. Llega a la conclusión de que el cambio climático requerirá DOTs estatales para tener un enfoque en tecnologías predictivas en el campo. Los estados también deben desarrollar mejores sistemas de respuesta a emergencias. Debido al cambio climático habrá emergencias relacionadas con climas más intensos y con mayor frecuencia que en la actualidad.

La implicación continua de las agencias de transporte en operaciones de sistemas incluye tres corrientes básicas del desarrollo:

- *la gestión sistemática de la congestión*
- *las actividades de control de nieve y hielo de rutina*
- *la aclaración de las funciones de agencias de transporte «en la respuesta a emergencias».*

El principal reto es combinar estas tres corrientes de la actividad en un enfoque integrado de todos los peligros para dar cabida a toda la gama de los incidentes, riesgos y emergencias y la superación de la actual fragmentación entre las agencias de transporte y de seguridad pública, estatales y locales. Mientras los cambios inducidos por el clima tienen lugar, es probable que el clima desempeñe un papel más importante en este proceso.

Análisis/Comentarios:

Especialmente interesante para expertos en los Estados Unidos, pero también un buen conocimiento para otros países que tienen un muy alto volumen de tráfico y una gran cantidad de trastornos relacionados con el clima y las emergencias.

Área/Tipo de Clima:

Estados Unidos, generalmente templado, pero tropical en Hawaii y Florida, ártico en Alaska, semiárido en las grandes llanuras al oeste del río Mississippi, y árido en la Gran Cuenca del sudoeste; las bajas temperaturas del invierno en el noroeste mejoran en ocasiones, en enero y febrero, por los cálidas vientos chinook de las laderas orientales de las Montañas Rocosas.

Problemas de nieve, hielo y deslizamientos:

Congestiones y emergencias.

Encuesta de modelos y algoritmos para el mantenimiento de las carreteras en invierno.**Parte II: Diseño de sistema para disposición de la nieve**

(Perrier et al., 2006) [42]

Extracto:

Las operaciones de mantenimiento de carreteras de invierno incluyen problemas de toma de decisiones en los niveles estratégicos, tácticos, operacionales y en tiempo real. Estas actividades incluyen la difusión de los productos químicos y abrasivos, quitando la nieve, la carga de la nieve en camiones, y el transporte de la nieve de los sitios de disposición.

Se ha realizado una encuesta de cuatro partes. La primera parte revisa los modelos de optimización y algoritmos de solución para el diseño de sistemas de mantenimiento de carreteras de invierno para la difusión y las operaciones de arado.

Esta segunda parte revisa los problemas de diseño del sistema de direcciones para la dispersión y las operaciones de arado. El objetivo de este trabajo ha sido proporcionar un estudio exhaustivo de los modelos de optimización y metodologías de solución para el diseño de sistemas para las operaciones de eliminación de nieve. Estos problemas incluyen la partición de una región o de la red de carreteras en sectores, la localización de los lugares de eliminación de la nieve, la asignación de sectores a los sitios de disposición de la nieve y la asignación de sectores a empresas privadas o agencias gubernamentales.

Como uno de los resultados hay una tabla concisa que resume las características de los modelos de diseño de sistemas revisados relacionados con las operaciones de eliminación de nieve. El uso de metodologías de investigación de operaciones para los problemas de mantenimiento de carreteras de invierno se encuentra todavía en desarrollo. Muy pocos de los modelos propuestos se han aplicado en la práctica. Todavía hay mucho que investigar y desarrollar.

Las dos últimas partes de la encuesta tratan principalmente de rutas para vehículos, localización de depósito y modelos de tamaño de flota para el mantenimiento de carreteras en invierno.

Análisis/Comentarios:

Para propósitos más científicos - investigaciones y nuevos modelos de desarrollo, no para la problemas del día a día.

Área/Tipo de Clima:

Canadá

Problemas de nieve, hielo y deslizamiento:

Diseño de sistema para problemas de esparcimiento y arado de la nieve.

Cambio Climático y las Implicaciones Potenciales para el Sistema de Transportes de California

(duVair et al., 2003) [13]

Extracto:

DOT – el Centro para el Cambio Climático y de Predicción Ambiental organizó un taller de los impactos potenciales del cambio climático en Transporte en octubre del 2002. El taller reunió a los mejores profesionales de transporte y expertos en cambio climático para explorar lo que se conoce acerca de la interacción entre el cambio climático y el transporte, y para identificar las preguntas de investigación clave necesarias para comprender mejor los riesgos potenciales para el sistema de transporte.

Uno de los informes vino de California. En California, el aumento de la frecuencia e intensidad de las tormentas combinado con el aumento del nivel del mar está empeorando los problemas de erosión de la playa y los acantilados bajos. Este es un problema serio para los sistemas viales y ferroviarios costeros, así como el sistema de diques de California. Las temperaturas invernales más cálidas conducirán a más precipitación en forma de lluvia en vez de nieve. El aumento de la escorrentía durante los meses de invierno y primavera aumentará el riesgo de inundaciones y deslizamientos de tierra. Eventos como el deslizamiento de tierra de Mill Creek de la Carretera 50 en enero de 1997 pueden llegar a ser más comunes.

En el documento se examina primero un conjunto de implicaciones relacionadas con el clima para las zonas rurales, costeras y la infraestructura de transporte urbano de California. Esta primera sección también toma nota de los posibles impactos en la calidad del aire relacionados con el cambio climático. En la segunda parte del artículo se proporciona una revisión de algunas de las actividades de mitigación de gases de efecto invernadero en su estado actual y potencial dentro del sector del transporte - mirando hacia una economía menos intensiva en gases de efecto invernadero en el futuro.

Análisis/Comentarios:

Especialmente interesante para expertos en California, pero buen conocimiento también para otros países que tienen clima y retos similares.

Área/Tipo de Clima:

California

Problemas de nieve, hielo y deslizamiento:

Tormentas, incremento del nivel del mar, erosión.

Cambio Climático y su Impacto en las Condiciones de las Carreteras en Invierno

(Brun, 2007) [20]

Extracto:

En el Resumen para los Creadores de Políticas IPCC WG1, en su Cuarto Informe de Evaluación, el IPCC afirma que el calentamiento del sistema climático es inequívoco y que la mayor parte del aumento observado en las temperaturas medias mundiales desde mediados del siglo 20 es muy probablemente debido al incremento observado en los gases de efecto invernadero.

Se observa este cambio en la mayor parte del mundo y es especialmente importante en las altas latitudes del hemisferio norte y Europa occidental. En Francia, la temperatura observada se ha incrementado en casi 1 ° C durante el siglo pasado y este aumento se ha producido sobre todo desde la década de 1970.

No hay duda de que el cambio climático tendrá un impacto importante en las actividades de mantenimiento de las carreteras en invierno. En pocas palabras, el número de días de heladas, de las olas de frío y nevadas disminuirá significativamente. Esto probablemente limitará el daño por heladas de las estructuras de la carretera y el número de días en que el tráfico se verá afectado por la nieve.

Una buena evaluación del impacto del cambio climático en las carreteras y su mantenimiento en invierno necesita una sólida comprensión de los procesos que intervienen entre el pavimento y las condiciones meteorológicas. Es necesario el uso de modelos de simulación basados en la física para cuantificar el papel respectivo de varios factores como la temperatura del aire y la humedad, la nubosidad, la precipitación o las propiedades físicas de la estructura vial.

Debido a que las condiciones de nieve y heladas son comunes, pero no muy frecuentes, Francia es un caso particularmente interesante para evaluar el impacto del cambio climático en las actividades de mantenimiento de carreteras en invierno. En este trabajo, los resultados recientes se presentan para ilustrar el posible impacto de diversos escenarios climáticos que se espera en la cantidad de días de heladas y nieve. Se prestó especial atención al número de días en que es probable que la nieve se quede en las carreteras.

Análisis/Comentarios:

El informe no estaba disponible, pero es probable que el especialista de Francia saque lo mejor de éste, pero también otros países que tienen clima y retos similares deberían ver el informe.

Área/Tipo de Clima:

Francia, por lo general inviernos fríos y veranos suaves, pero inviernos suaves y veranos calientes a lo largo del Mediterráneo; ocasionales fuerte, frío, seco, de norte a noroeste con viento conocido como mistral.

Problemas de nieve, hielo y deslizamientos

Mantenimiento de invierno.

Carreteras y Cambio Climático en Regiones Montañosas: Manteniendo la Cabeza Fría Resolviendo Problemas Graves

(Parriaux, 2008) [22]

Extracto:

Los peligros involucrados en regiones montañosas o accidentadas con respecto a escenarios de clima de transposición, con especial énfasis en la relación entre la temperatura de la nieve y las heladas, son el foco del artículo. El autor también proporciona a los ingenieros una visión de cómo hacer frente a los desafíos respectivos con medida. Desafíos únicos en dichos terrenos incluyen flujos de lava, deslizamientos, flujos de escombros, desprendimientos de rocas, cuencas de caída de nieve / lluvia y las cuencas de caída de nieve/ cuencas glaciales.

Análisis/Comentarios:

Análisis del documento y elementos de conclusión de nuestro trabajo

- *La introducción de la idea de las condiciones de contorno y la variación debido al cambio climático. La transposición de la situación del cambio climático en las zonas de relieves fuertes no es simple. Se señala la necesidad de medir la urgencia de las situaciones.*
- *Los problemas sobre todo de la estabilidad de la pendiente dependen de la variación de la cobertura y los problemas de profundidad de la nieve.*
- *Los problemas de las secuencias de descongelación-congelación de la nieve pueden plantear y generar secuencias más frecuentes de congelación y, por lo tanto, de las intervenciones también más frecuentes, preventivas y curativas, desde un posible aumento en el consumo de sal a pesar de un aumento de las temperaturas.*
- *El problema de la gestión de los cúmulos de nieve salada, por lo tanto, el agua salada que penetra en las estructuras de las carreteras.*
- *Enfoque interesante.*
- *Más que el clima este documento está enfocado a zonas montañosas.*

Área/Tipo de Clima:

Confederación Suiza, templado, pero varía con la altitud; lluviosa/inviernos fríos y nevados, nublado; fresco a caliente, veranos húmedos nublados con lluvias ocasionales

Problemas de nieve, hielo y deslizamientos.

Avalanchas, hielo

Gestión de riesgos para carreteras en climas cambiantes, RIMAROCC.

(Eidsvig et al., 2010) [16]

Extracto:

El método RIMAROCC está desarrollado para adaptarse a diferentes escalas geográficas, incluyendo la estructura, la sección, la red y escalas territoriales. Este estudio de caso es la escala de la sección, lo que significa el análisis de riesgo de un camino específico o parte de una carretera. Más concretamente, el caso de estudio considera la evaluación de riesgos y gestión de riesgos para la carretera RV 15, Strynefjell, Noruega y, en particular, la parte más propensa a avalanchas de esta carretera. Esta parte de la carretera discurre por una zona montañosa, al lado de las montañas y con una longitud total de 18 kilómetros. El camino es especialmente propenso a avalanchas de nieve y deriva de nieve y, a menudo, está cerrado debido a esto. Las consecuencias de las avalanchas son la pérdida de vidas, la pérdida de la accesibilidad y los retrasos de transportes importantes; El riesgo para la RV 15 es bastante alto en relación a los estándares de hoy en día y la situación probablemente empeorará en el futuro debido al cambio climático. Según este estudio, la medida más rentable de reducción del riesgo sería la implementación de soluciones permanentes, por ejemplo, instalación de galerías de avalancha a lo largo de la parte más expuesta de la carretera.

A través del caso de estudio se verificó que el enfoque RIMAROCC es una herramienta conveniente para la evaluación de riesgos y gestión de riesgos para las carreteras en un clima cambiante. El marco guía al usuario y ofrece flexibilidad para realizar ajustes individuales a cada caso específico. El objetivo principal del estudio era demostrar la aplicación del enfoque RIMAROCC e identificar y mejorar las deficiencias en las versiones preliminares de éste. De esta manera, el desarrollo del marco final ha sido un proceso iterativo.

Análisis/Comentarios:

El método es, obviamente, muy interesante. La idea de poder reducir la frecuencia con respecto a los problemas del medio ambiente, a partir del escenario del cambio climático y los fenómenos de invierno en comparación con la situación actual.

Área/Tipo de Clima:

Noruega, templado a lo largo de la costa, modificado por Corrientes del Atlántico Norte; interior más frío, con aumento de las precipitaciones y los veranos más fríos; lluvias durante todo el año en la costa oeste

Problemas de nieve, hielo y deslizamiento:

Avalanchas, caída de nieve, gestión de riesgos

Adaptación al cambio climático

(Grendstad and wg_members, 2012) [17]

Extracto:

El clima en Europa va a cambiar durante el siglo XXI. ...Para los propietarios de carreteras, la adaptación al cambio climático debe ser incluida en los procedimientos actuales y futuros que cubran todos los aspectos de la planificación de carreteras, diseño, mantenimiento y operación. Los objetivos de este informe son:

- *mostrar las consecuencias del cambio climático para la infraestructura; y*
- *proponer acciones al cambio climático para la adaptación de la red de carreteras.*
- *... Fuertes nevadas en las zonas montañosas del norte de Europa que causan problemas para el mantenimiento de invierno y la operación en condiciones difíciles, y la necesidad de una mejor gestión de riesgos y procedimientos eficientes para iniciar acciones correctivas después de que ocurra un evento relacionado con el clima, debido al hecho de que las medidas de protección existentes pueden no ser suficientes y que la planificación de las medidas correctivas requiere cierto tiempo. Todos estos efectos pueden ser reconocidos en todas las fases de la gestión de carreteras: la planificación, diseño, construcción, mantenimiento y operación...*
- *...La adaptación al cambio climático debe comenzar durante la planificación de un proyecto de carretera por la elección de una alineación (incluyendo elevación) donde el camino no está demasiado expuesto a riesgos de deslizamientos de tierra, inundaciones, etc. Se debe preparar un buen plan general para la gestión de las aguas de escorrentía durante esta fase del trabajo.*
- *El cambio climático requerirá la adaptación de las directrices de diseño con el fin de asegurar una buena capacidad de drenaje y protección contra la erosión, definir los requisitos adecuados de calidad de los materiales de construcción de carreteras, gestionar los riesgos de deslizamientos de tierra, y poner en práctica medidas para garantizar la protección del medio ambiente, etc...*

Análisis/Comentarios:

Definición de los principales riesgos en las carreteras en invierno «cambios frecuentes de congelamiento/descongelamiento en áreas con condiciones estables de invierno actuales»

Propuesta para mejorar la organización operativa frente al cambio climático:

Documento para analizar en detalle.

Área/Tipo de Clima:

Climas europeos

Problemas de nieve, hielo y deslizamientos

Cómo gestionar la organización

**Condado de Essex: Sistema de derretimiento geotérmico
de nieve para cubiertas de puentes**

(County of Essex, 2009) [43]

Extracto:

El derretimiento geotérmico de la nieve o el sistema de descongelamiento es una alternativa amigable con el medio ambiente, con el mantenimiento de invierno mecánico o químico común, y está disponible día y noche sin un soporte costoso para la respuesta de emergencia.

Durante las fuertes nevadas, el derretimiento geotérmico previene el congelamiento de la superficie incluso con baja temperatura: la limpieza mecánica se convierte en un mantenimiento de invierno de fácil manejo, el derretimiento de la nieve y el descongelamiento de la parte inferior utilizando calor geotérmico renovable y libre es una solución obvia.

Análisis/Comentarios:

El cambio climático modifica los procesos de congelación-descongelación y hace que el sistema de derretimiento de la nieve sea económicamente viable.

El uso de la diferencia de potencial térmico permite disminuir la difusión de sal y da un beneficio para el medio ambiente.

Área/Tipo de Clima:

Reino Unido, templado; moderado por prevaeciente vientos del suroeste sobre la Corriente del Atlántico Norte; más de la mitad de los días son nublados

Problemas de nieve, hielo y deslizamiento

Incremento de los ciclos y cantidad de congelamiento-descongelamiento, gestión de puentes.

Adaptación al Cambio Climático – Informe sobre las Medidas de Adaptación al Cambio Climático para Carreteras de Bajo Volumen en la Periferia Norte

(Hudecz, 2012) [23]

Extracto:

El Proyecto ROADEX de la Unión Europea 1998 - 2012 fue una cooperación de carreteras transnacional destinada a desarrollar formas para la gestión interactiva e innovadora de caminos de bajo volumen de tráfico a lo largo de las regiones de clima frío de la Zona Norte de la periferia de Europa. Sus objetivos eran facilitar la cooperación y la investigación de los problemas comunes de la Periferia Norte. Este informe es un producto del proyecto ROADEX «Implementación de Accesibilidad» (2009-2012). Proporciona un resumen de los resultados de la investigación sobre las medidas de adaptación para combatir los efectos del cambio climático en las carreteras de bajo volumen en la Periferia Norte. La investigación se llevó a cabo entre enero de 2000 y marzo de 2012. Uno de los mayores desafíos que la humanidad debe afrontar es la perspectiva del cambio climático resultante de las emisiones de gas de efecto invernadero. Estos gases atrapan la energía en la atmósfera y provocan que las temperaturas superficiales globales se eleven. Este calentamiento, a su vez, causa cambios en otras variables climáticas como la lluvia, la humedad y la velocidad del viento que inciden en el funcionamiento de infraestructuras tales como las redes de carreteras. Este documento analiza los cambios climáticos pronosticados por organizaciones meteorológicas del mundo y considera cómo estos pueden tener un impacto en las redes de carreteras públicas y forestales de la Periferia Norte. Incluye:

- *Un resumen de los cambios climáticos proyectados*
- *Una discusión sobre cómo estos cambios pueden afectar las redes de carreteras de la Periferia Norte*
- *Medidas prácticas y buenas de adaptación que se pueden utilizar*

En el documento se informa de los resultados de un cuestionario distribuido a los Socios ROADEX para conocer sus opiniones y preocupaciones sobre cómo el cambio climático podría afectar a sus redes de carreteras de bajo volumen locales.

Área/Tipo de Clima:

Los países del Norte, templada; moderado por Corriente del Atlántico Norte; inviernos ventosos leves; veranos frescos, húmedos.

**Impacto y adaptación al cambio climático:
caso de estudio para carreteras del norte de Canadá**
(McGregor et al., 2008) [50]

Extracto:

El acceso a las comunidades y el desarrollo de recursos en el norte de Canadá a menudo se basa en una carretera con todo tipo de clima o sólo con clima invernal. Las tendencias de calentamiento en los últimos años pueden poner estas vías de acceso indispensables en riesgo por el impacto de las estructuras viales que recubren el permafrost, acortando la duración de las carreteras de invierno construidas sobre hielo o terreno estacionalmente congelado. Este artículo presenta dos casos de estudio de todas las condiciones meteorológicas y el invierno en las carreteras en el norte de Canadá para describir las cuestiones relativas a los impactos del cambio climático y las estrategias de adaptación que han sido o están siendo implementadas para hacer frente a los impactos.

La reconstrucción de Yellowknife Highway (Carretera 3 NWT). El diseño dirigido a aquellas características de rendimiento del terraplén a largo plazo representa el mayor riesgo de mantenimiento y seguridad no controlado. Las siguientes funciones se adoptaron para mitigar los efectos del cambio climático y retardar la velocidad de deshielo:

- *El núcleo del terraplén se compone de un mínimo de 2 metros de escollera de cantera, proporcionando fuerza interna para igualar asentamientos futuros;*
- *Se proporcionaron bordes de sacrificio a taludes en el terraplén, ya que se reconoció que los suelos de permafrost que apoyan las pendientes serían los primeros a descongelarse;*
- *Se adoptó un sistema de gestión de la nieve para fomentar la eliminación de la nieve de los taludes donde sea práctico;*
- *Se adoptaron taludes suaves como 4 ó 6 horizontales y 1 vertical, en rellenos bajos para alejar el agua estancada de la punta de los pies y reducir la nieve a la deriva; y*
- *Un sistema de monitorización de la temperatura del suelo se puso en práctica para rastrear la respuesta permafrost.*
- *La Carretera de Invierno de Tibbitt a Contwoyto da acceso a las minas de diamantes. El desarrollo de nuevas tecnologías y estrategias para optimizar el acortamiento de la temporada de servicios son descritas.*
- *El documento también analiza los aspectos de los límites de peso de camiones de temporada que son vulnerables al cambio climático y las posibles estrategias de adaptación.*

Análisis/Comentarios:

Este documento se enfoca en la infraestructura vial, excepto de las carreteras de invierno construidas cada temporada con nieve compactada y hielo (¿y la gestión de la nieve en los taludes de carreteras y en los lagos?)

Área/Tipo de Clima:

Canadá, región del Norte, varía de templado en el sur a sub ártico y ártico en el norte

Problemas de nieve, hielo y deslizamiento:

Estructuras de carretera

**Cambio climático y mantenimiento de invierno en las carreteras:
¿La complacencia será el nuevo asesino?**

(Chapman and Andersson, 2010) [26]

Extracto:

El clima del invierno puede ser una causa importante de los accidentes de tráfico. Este trabajo utiliza escenarios UKCIP de cambio climático y un análogo temporal para investigar la relación entre la temperatura y los accidentes de tráfico graves en West Midlands, Reino Unido. Este enfoque también permite la cuantificación de los cambios en la gravedad de la temporada de invierno para el próximo siglo en la región. Está demostrado que la reducción prevista en el número de días de heladas se debe a la reducción del número de accidentes de tráfico causados debido a deslizamiento en aproximadamente un 50%. Sin embargo, el documento concluye advirtiendo contra la complacencia en los regímenes de mantenimiento de invierno. Un clima más cálido puede dar lugar a recortes en el presupuesto para el mantenimiento de carreteras, que a su vez puede también invertir las tendencias a largo plazo la disminución de accidentes. Basado en un escenario de evolución (2020, 2050, 2080), se deduce una evolución accidentológica debido a la nieve o hielo en las aceras. También se tiene en cuenta la evolución del tráfico. El número de días de heladas va a bajar, y también lo hará la cantidad de descongelantes y accidentes. Muchas referencias sobre accidentes durante el invierno.

Análisis/Comentarios:

En realidad, no está relacionado con el mantenimiento de invierno. Pero puede ser de utilidad para los parámetros de clima cambiante. Muy similar a (Andersson y Chapman, 2011) [8]

Área/Tipo de Clima:

West Midlands, Reino Unido templado; moderado por los vientos predominantes del suroeste sobre el Atlántico Norte.

Problemas de nieve, hielo y deslizamientos:

Días congelados

Cambio climático – Influencia en las carreteras: Adaptación de gestión de carreteras

(Öberg and Lindbom, 2008) [24]

Extracto:

Un grupo de trabajo de la NRA, Asociación de Carreteras Nórdicas 41 Mantenimiento y Operación, ha tenido la tarea de estudiar el cambio climático y lo que será importante en el futuro de acuerdo con el mantenimiento y operación. El grupo de trabajo tuvo participantes de las administraciones de carreteras, meteorología e institutos de investigación. Como trabajo final en el grupo se utilizó un método, como un primer paso, para averiguar en qué áreas es más importante empezar a actuar en función al cambio climático. El método de cálculo de riesgo es un método utilizado por la Administración de Carreteras de Suecia (SRA) en proyectos administrativos, pero también hace el análisis de riesgo de los daños de las carreteras. El análisis de riesgos se ha hecho para Dinamarca, Finlandia, Islas Feroe, Islandia, Noruega y Suecia. El análisis se realiza en dos pasos. Primero tenemos que decidir cuál es la probabilidad de que algo sucede a nivel nacional recogidos. Puede haber algunos grandes eventos o cambios graduales. La probabilidad se calcula como si no se tomasen medidas preventivas que no sean el habitual hoy en día.

El segundo paso es la consecuencia y eso significa el costo estimado para el caso de la administración de carreteras, usuarios de la vía y de la sociedad en general. Fuera de estos países Noruega tendrá la mayor influencia del cambio climático. Esto en mucho depende de que Noruega sea un país montañoso y también tenga una larga costa en comparación con el tamaño del país. Esto también es cierto para las Islas Feroe pero el clima no cambiará tanto como en Noruega.

El análisis de riesgos basado en un escenario determinado. Las definiciones de las acciones más importantes a llevar a cabo. Análisis amplio donde el mantenimiento de invierno está mal considerado. Interesante para los métodos y compromisos inmediatos.

Análisis/Comentarios:

Muy interesante análisis también publicado en (Arvidsson et al., 2012a).

Área/Tipo de Clima:

Los países del Norte, templado en el sur con inviernos fríos, nublados y veranos frescos, parcialmente nublados; sub ártica en el norte.

Problemas de nieve, hielo y deslizamientos

Gestión de carreteras.

Los Efectos de la Predicción del Cambio Climático en las Operaciones de Invierno

(Halton and Laval, 2009) [28]

Extracto:

El cambio climático presenta riesgos que la Dirección General de Carreteras debe entender. La Agencia de Carreteras para la Adaptación de Estrategias contra el Cambio Climático (2008) hace hincapié en la necesidad de estrategias de medición oportunas para permitir que la totalidad de sus operaciones evolucionen en sincronización con un clima cambiante sin contribuir a su causa. Las operaciones de servicio de invierno de la Agencia están muy influenciados por el clima y se verán afectados por los cambios futuros. Este informe considera las tendencias proyectadas en el cambio climático y los efectos que puedan tener en las operaciones de servicio de invierno.

Análisis/Comentarios:

Método interesante, con la descripción de un enfoque operativo, bibliografía ampliada.

Área/Tipo de Clima:

Reino Unido, templado; moderado por prevaleciente vientos del suroeste sobre la Corriente del Atlántico Norte; más de la mitad de los días son nublados.

Problemas de nieve, hielo y deslizamientos:

Gestión de carreteras.

Los Efectos del Cambio Climático en las Políticas y Estándares de la Red de Autopistas 3CAP

(Walters, 2009) [36]

Extracto:

Este informe constituye la tarea de conclusión (Tarea 5) de una Alianza de Condados (3CAP) para evaluar el efecto del cambio climático en sus políticas y normas de carreteras.

Análisis/Comentarios:

Analizar la totalidad de los campos del mantenimiento y la explotación, la parte interesante de la WM. Introducción de un sistema de evaluación a partir de criterios comparables a los del desarrollo sostenible

Área/Tipo de Clima:

Reino Unido, templado; moderado por prevaeciente vientos del suroeste sobre la Corriente del Atlántico Norte; más de la mitad de los días son nublados.

Problemas de nieve, hielo y deslizamientos:

Hielo.

Cambio climático e infraestructura

(Bouilloud, 2010) [37]

Extracto:

Presentación sintética con mapas de la cobertura de nieve y escarcha sobre Francia, basados en diferentes escenarios (aumento de temperatura) y una hipótesis sobre la evolución del clima.

Análisis/Comentarios:

Interesante para hacer proyecciones en términos de mantenimiento de invierno, el dimensionamiento de una organización. El análisis compara la situación actual con la evolución del clima.

Área/Tipo de Clima:

Francia, por lo general inviernos fríos y veranos suaves, pero inviernos suaves y veranos calientes a lo largo del Mediterráneo; usualmente fuerte, frío, seco, de norte a noroeste con un viento conocido como mistral.

Problemas de nieve, hielo y deslizamientos:

Gestión de carreteras y todas las operaciones.

Condiciones de las Carreteras en Invierno y Accidentes de Tráfico en Suecia y el Reino Unido – Escenarios de Clima Actuales y Futuros

(Andersson, 2010) [30]

Extracto:

Esta tesis investiga el esparcimiento en las carreteras resbaladizas en Suecia y el Reino Unido para el clima actual y cómo esto puede verse afectado por el cambio climático el resto del siglo. También se ocupa de escenarios futuros de accidentes de tránsito y vialidad invernal. El propósito de esta tesis es obtener una mejor comprensión de las condiciones del camino de invierno y relaciones con los accidentes de vehículos de motor. Una variedad de escalas son estudiadas en esta tesis, que van desde estudios a nivel nacional en Suecia a los estudios de casos de menor escala en Suecia y el Reino Unido.

Análisis/Comentarios:

Está orientado principalmente al diferente patrón geográfico del estado de las carreteras en Suecia y un poco en Inglaterra.

Puede describir cómo el cambio climático puede afectar el estado de la carretera, no tanto el mantenimiento.

Área/Tipo de Clima:

Suecia, templado en el sur con inviernos fríos, nublados y veranos frescos, parcialmente nublados; sub ártica en el norte.

Inglaterra, templado; moderado por vientos predominantes del suroeste sobre el Atlántico Norte.

Problemas de nieve, hielo y deslizamientos:

Diferentes condiciones de carreteras.

Cambio Climático y Servicios de Carretera en Invierno

(Thordarson, 2008) [25]

Extracto:

El cambio climático va a influir en el tráfico, el mantenimiento y la gestión de carreteras en el futuro cercano, incluyendo el servicio de la carretera de invierno. Las temperaturas globales han aumentado en 0,74 °C durante el siglo pasado, y se espera que aumente en un 1.1 a 6.4 °C para finales de este siglo. Las estimaciones más probables para las próximas dos décadas predicen un aumento de temperatura de aproximadamente medio grado centígrado. La precipitación aumentará y la velocidad de los vientos extremos ocurrirá con más frecuencia. Los propietarios de carreteras e investigadores en Europa son conscientes de ello y la investigación sobre el asunto se ha iniciado en los diferentes países y en el ámbito europeo. El impacto del cambio climático en la gestión vial en general variará geográficamente, y algunos temas pueden conducir a resultados beneficiosos para la gestión de carreteras, mientras que otros temas pueden exigir la reubicación de recursos y nuevas formas de pensar, también para los servicios de invierno.

Análisis/Comentarios:

Enfoque general relativo a los países nórdicos, con algunas propuestas sobre el mantenimiento invernal. Otros países podrían inspirarse para analizar temas específicos similares.

Área/Tipo de Clima:

Países nórdicos

Problemas de nieve, hielo y deslizamientos:

Gestión de carreteras.

**Impacto del cambio climático en hielo, carreteras de invierno,
rutas de acceso y la primera nación de Manitoba**

(Centre for Indigenous Environmental Resources, 2006) [38]

Extracto:

Los objetivos específicos de esta investigación fueron:

- *Identificar y documentar los cambios en las condiciones del hielo, caminos de invierno y rutas de acceso;*
- *Identificar el (personal de salud y seguridad) económico, físico, social y los roles culturales desempeñados por los ríos/lago congelados, las carreteras de invierno y los senderos de acceso en la primera nación de Manitoba;*
- *Evaluar los impactos económicos, físicos, sociales y culturales que los cambios en las condiciones del hielo, carreteras de invierno y senderos de acceso han tenido y/o tendrán en el futuro sobre estas comunidades;*

Determinar si existen estrategias (y si se han aplicado con éxito) para hacer frente a los impactos asociados con el cambio de las condiciones del hielo, carreteras de invierno y senderos de acceso; y, Identificar las barreras a, o controladores de, las respuestas de acción con respecto a los cambios en la carretera de invierno y las condiciones ríos/lagos congelados.

Análisis/Comentarios:

Enfoque muy interesante en términos de desarrollo sostenible. El método que se adopte para los países del norte y redes con poco tráfico, pero muchas ideas útiles.

Problemas de nieve, hielo y deslizamientos:

Gestión de carreteras heladas, caminos

Impacto del cambio climático en heladas y actividades de mantenimiento de invierno en Francia

(Mauduit et al., 2008) [44]

Extracto:

El propósito de este trabajo es cuantificar la evolución de las prácticas actuales en el método de diseño de las heladas y en el mantenimiento invernal de las carreteras en Francia para el próximo siglo, de acuerdo con el cambio climático. El trabajo se basa en la simulación del clima de la base de datos del proyecto francés IMFREX, que utiliza el modelo ARPEGIE climático. Simula la evolución del clima durante el siglo 21 en el escenario A2 del IPCC.

Análisis/Comentarios:

Enfoque vinculada al «cambio climático e infraestructura, con una posible comparación con la situación y proyecciones actual en términos de dimensionamiento y organizaciones.

Área/Tipo de Clima:

Francia, por lo general inviernos fríos y veranos suaves, pero inviernos suaves y veranos calientes a lo largo del Mediterráneo; usualmente fuerte, frío, seco, de norte a noroeste con un viento conocido como mistral.

Problemas de nieve, hielo y deslizamientos:

Estructuras de carreteras.

Resumen de la investigación sobre efectos del cambio climático en la red de carreteras escocesas.

(Galbraith et al., 2005) [31]

Extracto:

Este informe presenta los resultados, que considera las tendencias previstas en el cambio climático y las implicaciones de éstos para la red de carreteras de Escocia. Mejorar nuestro conocimiento del cambio climático y sus impactos es esencial para permitir a Escocia hacer frente a las consecuencias del cambio climático. Estos cambios tienen el potencial de afectar a todos nosotros. Al igual que otros países, Escocia está tomando medidas para proteger el medio ambiente, la lucha contra el calentamiento global y el cambio climático reduciendo las emisiones de los gases. Sin embargo, una cierta cantidad de variación del clima es ahora inevitable y todos los países, incluido Escocia, han visto la necesidad de tomar medidas para adaptarse a ello.

Las tendencias en los cambios climáticos en Escocia se examinan para ver cómo pueden afectar a la red de carreteras. Las conclusiones muestran que los cambios climáticos en el futuro cercano pueden ser lo suficientemente importantes como para justificar el ajuste de las prácticas actuales. Se espera que las temperaturas y las precipitaciones de invierno aumenten, mientras que se espera que las lluvias de verano y días de nevadas disminuyan; y que las velocidades del viento puedan aumentar levemente. Se espera que la aparición de niebla disminuya y es probable que niveles de inundación costeras aumenten. El aumento de las precipitaciones podría provocar daños en los sistemas de drenaje.

Análisis/Comentarios:

Estudio que contiene un mapa exacto en términos de impacto en el cambio climático, con algunos detalles en las carreteras y algunas recomendaciones. Hay informes de los diferentes dominios de la carretera.

Área/Tipo de Clima:

Escocia, Reino Unido, templada; moderado por prevaleciente suroeste vientos sobre la Corriente del Atlántico Norte; más de la mitad de los días son nublados.

Problemas de nieve, hielo y deslizamientos:

Cambio climático

Modelo de profundidad de deshielo en tiempo real para la gestión de limitación de carga de ejes de descongelamiento.

(Thordarson et al., 2010) [51]

Extracto:

Para minimizar el pavimento de la carretera y la descomposición de sub-base y minimizando al mismo tiempo las restricciones de carga, se trata de información precisa sobre cómo la gestión durante los períodos de deshielo es importante. Se ha establecido una red de estaciones meteorológicas de carretera y sensores de profundidad heladas sub-base en Islandia. El sistema ha demostrado ser de gran valor para el monitoreo en tiempo real del estado de las carreteras, tanto por encima como por debajo de la superficie.

Análisis/Comentarios:

Gestión de sistema de “barreras anticongelantes” en la estructura.

Área/Tipo de Clima:

Isla, templada; moderado por Corriente del Atlántico Norte; inviernos ventosos leves; veranos frescos, húmedos.

Problemas de nieve, hielo y deslizamiento:

Estructuras de carreteras.

Evaluación de modelo de simulación de clima regional para la información relacionada al transporte de invierno en el valle Saint Lawrence

(Chaumont, 2010) [39]

Extracto:

Estudios anteriores de los impactos del cambio climático sobre la infraestructura de transporte en América del Norte por lo general se han basado en simulaciones de modelos climáticos globales. El Consorcio Urano tiene un importante programa de investigación y desarrollo para producir simulaciones de cambio climático regional, donde la mayor resolución permite la generación de información más pertinente para el análisis de los cambios en la media y la variabilidad de los indicadores climáticos. Además, ahora es posible hacer frente a las incertidumbres en los cambios climáticos proyectados utilizando un conjunto de simulaciones climáticas regionales para establecer una idea del grado de coherencia en la respuesta al calentamiento global proyectado.

Análisis/Comentarios:

Simulación local del cambio climático para lograr una mayor comprensión de las dificultades locales.

Área/Tipo de Clima:

Canadá, varía de templado en el sur a sub ártico y ártico en el norte

Problemas de nieve, hielo y deslizamientos:

Nieve, hielo.

Estrategia de Administración Federal de Carreteras para la Adaptación al Cambio Climático

(Culp, 2010) [40]

Extracto:

Con el cambio climático viene la necesidad de que la comunidad del transporte comprenda cómo actuar. La Administración Federal de Carreteras (FHWA) ha tomado una posición de liderazgo para hacer frente a la creciente adaptación para rodear dicha brecha. Un grupo de trabajo se creó en 2008 para crear una estrategia que aborde la adaptación a los impactos del cambio climático. El objetivo de la estrategia es consolidar la posición FHWA sobre la adaptación, dado el entendimiento emergente de los impactos inminentes del cambio climático. La estrategia también proporciona un medio de comunicación de una dirección política para la FHWA a todos nuestros grupos de interés, especialmente las agencias estatales y locales de transporte, así como el público. El tercer objetivo de la estrategia es la de servir como una base estratégica para futuras acciones a ser tomadas por la FHWA.

Análisis/Comentarios:

Enfoque prospectivo sobre la definición de políticas de la organización.

Área/Tipo de Clima:

EE.UU.

Qué impacto tendrá el cambio climático en las carreteras de Suecia y cómo manejarlo.

(Nordlander, 2010) [41]

Extracto:

El resultado del análisis nacional de los riesgos y las vulnerabilidades debido al impacto del cambio climático ha dado lugar a una serie de estudios en profundidad del primer efecto de la mayor cantidad de agua, en diferentes formas. El objetivo principal del proyecto es identificar túneles y partes de las carreteras que son bajas en comparación con el nivel del mar, y las partes vulnerables de las carreteras en relación con la transmisión de las aguas superficiales. Otra parte de la estructura de la carretera en riesgo es el sistema de drenaje, que en el futuro debe ser capaz de manejar el agua en cantidades más grandes que en la actualidad. Este problema es común a la mayor parte del país. El primer impacto del cambio climático en que surgió conciencia al respecto, sin embargo, de acuerdo con los escenarios que se han formulado, es el clima extremo, como aguaceros. Esto, por ejemplo, afecta la estabilidad de taludes y da lugar a inundaciones. Otro de los problemas causados por el aumento de la temperatura, en el largo plazo, es la pérdida de suelo o permafrost congelado. En las regiones del norte de Suecia, el suelo congelado es un factor importante de la capacidad de soporte de carga.

Análisis/Comentarios:

Enfoque sobre los efectos en la red de carreteras y su entorno (gestión del agua, estabilidad de taludes, diseño heladas...).

Una buena idea de lo que Suecia está haciendo para evitar a las carreteras de ser dañadas por agua debido al clima más suave en el norte de Suecia.

Área/Tipo de Clima:

Suecia, templado en el sur con inviernos fríos, nublados y veranos frescos, parcialmente nublados; sub ártica en el norte.

Condiciones climáticas y consecuencias de operaciones de deshielo como fue ejemplificado por la situación en una carretera y aeropuerto en Gardermoen, Noruega.

(French et al., 2010) [27]

Extracto:

Grandes cantidades de productos químicos de deshielo se utilizan en el hemisferio norte para mantener la seguridad de invierno en las carreteras y aeropuertos cada año. En Gardermoen, se utiliza formiato de potasio (Kfo) en las pasarelas, cloruro de sodio (NaCl) en carreteras y propilenglicol (PG) para aviones. El uso total de productos químicos de deshielo es una parte importante de la evaluación de los riesgos relacionados con la contaminación del agua en Gardermoen. El objetivo de este trabajo es examinar cómo los factores climáticos afectan el uso de productos químicos de deshielo a través de entrevistas con los operadores de deshielo y por métodos estadísticos utilizando datos sobre las variables climáticas y las operaciones de deshielo. Un modelo de regresión lineal múltiple muestra una buena relación entre la temperatura diaria del punto de rocío, precipitación, velocidad del viento, el número de salidas y el uso de PG. Los resultados fueron menos prometedores para la predicción de Kfo. Esto podría ser explicado por el factor humano y la insuficiencia de las variables climáticas estándar para representar la situación cerca de la pista de aterrizaje. Un análisis de los escenarios de cambio climático a escala reducida diarios para la zona de Gardermoen reveló los detalles suficientes para realizar cálculos precisos del cambio en total el consumo de productos químicos de deshielo. El incremento medio previsto de 7,6 °C durante el invierno, sin embargo, sugiere una necesidad reducida de productos químicos de deshielo en el largo plazo (2071-2100).

Análisis/Comentarios:

Abstracto interesante. Necesidad futura de productos químicos de deshielo.

Área/Tipo de Clima:

Noruega, templado a lo largo de la costa, modificado por Corriente del Atlántico Norte; interior más frío, con aumento de las precipitaciones y los veranos más fríos; lluvias durante todo el año en la costa oeste.

El impacto del cambio climático en el mantenimiento de invierno de carreteras y accidentes de tráfico en West Midlands, Reino Unido

(Andersson and Chapman, 2011) [8]

Extracto:

El período invernal puede ser una causa importante de los accidentes de tráfico. Este trabajo utiliza escenarios de cambio climático UKCIP y un análogo temporal para investigar la relación entre la temperatura y los accidentes de tráfico graves en West Midlands, Reino Unido. Este enfoque también permite la cuantificación de los cambios en la gravedad de la temporada de invierno en el próximo siglo en la región. Está demostrado que la reducción prevista en el número de días de heladas debe a su vez reducir el número de accidentes de tráfico causados debido a deslizamiento en aproximadamente un 50%. Sin embargo, el documento concluye advirtiendo contra la complacencia en los regímenes de mantenimiento de invierno. Un clima más cálido puede dar lugar a recortes en el presupuesto para el mantenimiento de carreteras, que a su vez puede también revertir tendencias decrecientes de accidentes.

Análisis/Comentarios:

Este trabajo utiliza escenarios climáticos Programa de Impacto Climático del Reino Unido (UKCIP) para los tres períodos de tiempo 20s, 50s y 80s. Los accidentes se ha relacionado con la temperatura en el momento del accidente y luego el modelo en un escenario de cambio climático.

En realidad, no relacionados con el mantenimiento de invierno. Puede ser de utilidad para los parámetros de clima cambiante. Predicción del número de días de heladas.

Área/Tipo de Clima:

West Midlands, Reino Unido, templado; moderado por los vientos predominantes del sudoeste sobre el Atlántico Norte

Problemas de nieve, hielo y deslizamientos:

Días helados

El impacto del cambio climático y el clima en el transporte: Un resumen de los descubrimientos empíricos

(Koetse and Rietveld, 2009) [32]

Extracto:

Este artículo presenta una revisión de la literatura empírica sobre los efectos del cambio climático y las condiciones climáticas en el sector del transporte. A pesar de la evidencia mixta sobre muchos temas, se pueden observar varios patrones. A escala mundial, especialmente los cambios en el turismo y la producción agrícola debido al aumento de las temperaturas puede provocar cambios en transporte de pasajeros y mercancías. El aumento previsto del nivel del mar y el aumento asociado en la frecuencia e intensidad de las mareas de tempestad y las incidencias de inundaciones pueden ser, además, algunas de las consecuencias más preocupantes del cambio climático, especialmente para las zonas costeras. Cambios relacionados con el cambio climático en los patrones climáticos también pueden causar interrupciones de infraestructura. Patrones claros son que la precipitación afecta la seguridad vial mediante el aumento de frecuencia de accidentes, pero la disminución de la gravedad. La precipitación también aumenta la congestión, especialmente durante las horas pico. Por otra parte, una mayor frecuencia de bajos niveles de agua puede aumentar considerablemente los costos de transporte por vías navegables. A pesar de estos puntos de vista, el impacto neto del cambio climático en los costos generalizados de los distintos modos de transporte es incierto y ambiguo, con una posible excepción para el transporte por vía navegable.

Análisis/Comentarios:

Los cambios en los parámetros relacionados con el clima y el efecto que tiene sobre los diferentes sectores del transporte. Este trabajo apunta más a diferentes tipos de transporte de vialidad invernal. Los tiempos de seguridad de viaje y los viajes pueden ser de utilidad.

Adaptación al Cambio Climático en el Sector de Transportes

(Koetse and Rietveld, 2012) [14]

Extracto:

En este estudio, se revisa la literatura sobre las medidas de adaptación al cambio climático en el sector del transporte. Muchas de las medidas propuestas son más bien conceptuales y lejos de ser concretas, probablemente debido al hecho de que los efectos del cambio climático en el transporte son desconocidos o muy inciertos. Dada la escasa información sobre la posible magnitud de los daños climáticos y las diversas incertidumbres involucradas, el aplazamiento de las inversiones de adaptación bien puede ser la estrategia más sensata en este momento, sobre todo cuando las inversiones son sustanciales e irreversibles. Por otra parte, el seguimiento de los cambios climáticos pertinentes y la investigación en curso sobre los efectos del cambio climático son elementos importantes de una estrategia de adaptación proactiva. Decisiones irreversibles, tales como los de organización espacial, probablemente requerirán una estrategia más activa, por ejemplo, en la forma de hacer las reservas espaciales. Se discute aún más la interdependencia entre la mitigación y la adaptación óptima, un problema que suele pasarse por alto en la literatura. Por último, la mayoría de los operadores y organismos gubernamentales no están acostumbrados a tratar con el riesgo y la incertidumbre, y por lo general basan sus decisiones en sólo valores de riesgo individuales, que probablemente conducen a una inversión deficiente o excesiva. Se discuten varios temas relevantes en esta área y los métodos de relieve que se pueden utilizar para afrontar mejor estas cuestiones.

Análisis/Comentarios:

Cómo adaptarse al cambio climático en el transporte. No es realmente acerca de vialidad invernal, más en la economía de transporte.

Índice mejorado de inviernos locales para evaluar las necesidades de mantenimiento y costos de adaptación en los escenarios de cambio climático – Informe Final.

(Saarikivi et al., 2009) [6]

Extracto:

La idea de IRWIN es combinar los escenarios climáticos mejor hechos tradicionalmente con los datos mucho más precisos espaciales procedentes de estaciones de campo en los sistemas de Información de Tiempo de Ruta (RWIS) instalados en la mayoría de países del hemisferio norte.

El presente Informe Final presenta primero brevemente los resultados de los dos informes de concepción: el estado-del-arte de los modelos climáticos y la formulación índice invierno, la fase de recopilación de datos y la formación de la base de datos del proyecto. El objetivo era desarrollar una novedosa base de datos de posibles escenarios futuras condiciones de las carreteras mediante la combinación de los datos históricos archivados RWIS con escenarios de cambio climático ampliamente aceptados. Las observaciones de las estaciones de RWIS suecos y finlandeses se obtuvieron de las Administraciones Nacionales de Carreteras. El objetivo era conseguir 10 años de observaciones de aire y temperatura de la superficie de carreteras, humedad, velocidad del viento, la cantidad de lluvia y el tipo de precipitación. Se obtuvieron 10 años de observaciones de 50 estaciones meteorológicas de carreteras en Suecia y 49 en Finlandia. Las observaciones en cada país se dividieron en tres regiones con caracteres climáticos distintivos.

Los resultados mostraron que la temperatura aumentaría más en las zonas septentrionales de Suecia y Finlandia. Las mismas áreas experimentarían una mayor cantidad de eventos cuando haya un cambio de más a menos grados, y por lo tanto necesitan más mantenimiento debido al deslizamiento causado por este cambio. Sólo la región en el suroeste de Suecia, tendrán en el futuro menos días en los cambios de temperatura de más a menos grados debido a un clima más cálido en esa zona.

El futuro traerá más días de lluvia sobre una superficie fría en el norte debido al clima más suave y más días de lluvia en el norte en vez de precipitaciones que caigan bajo forma de nieve. Las zonas del norte también serán más resbaladizas debido a días de heladas cuando la temperatura de superficie es baja y el punto de rocío es mayor que la temperatura de la superficie. Estos días de heladas se producirán con menor frecuencia en el futuro en las zonas más al sur, debido a un menor número de días con grados bajo cero.

Análisis/Comentarios:

Este informe analiza cómo diferentes cambios en el clima están afectando el mantenimiento de la vialidad invernal. Este informe tiene un estado-de-arte en dos partes: modelos climáticos y escenarios y los índices de invierno. También ha hecho un modelo para predecir la temperatura de superficie de la carretera. Muy útil.

Área/Tipo de Clima:

Suecia, templado en el sur con inviernos fríos, nublados y veranos frescos, parcialmente nublados; sub ártica en el norte.

Finlandia, templado frío; potencialmente sub ártica, pero comparativamente leves a causa de la influencia moderadora de la Corriente del Atlántico Norte, Mar Báltico y más de 60.000 lagos

**Efectos Potenciales del Cambio Climático en la Ciudad de Calgary:
Adaptándose a un Nuevo Ambiente**
(Timilsina and Kralovic, 2005) [10]

Extracto:

Este estudio evalúa los posibles efectos a largo plazo del cambio climático sobre Calgary y las medidas de mitigación del cambio climático. Los efectos de relieve en el estudio están relacionados con el entorno construido (por ejemplo, agua y suministro de energía, la infraestructura y el transporte), el medio ambiente natural (por ejemplo, la vegetación y la calidad del aire y el agua) y el desarrollo económico y social. El cambio climático afectaría Calgary tanto positiva como negativamente. Sin embargo, los efectos negativos son probablemente mayores que los positivos. Impactos positivos están relacionados con el aumento de recreación al aire libre, menos la remoción de nieve, un menor consumo de energía para calefacción y una mayor producción agrícola. Los impactos negativos incluyen, entre otros, la reducción de la calidad y cantidad del suministro de agua; aumento vector nacido y enfermedades parasitarias, más desechos con menos agua para limpiarlo. Medidas de mitigación del cambio climático proporcionarían beneficios asociados, tales como la mejora en la calidad del aire local y por lo tanto las reducciones en las enfermedades relacionadas con la calidad del aire; el ahorro de energía a través de mejoras de eficiencia energética en edificios, procesos industriales y vehículos; y un sistema de transporte público mejorado. Por otra parte, dado que la economía Calgary depende de las actividades de suministro de petróleo y gas (por ejemplo, la producción, el procesamiento y transporte), la economía podría sufrir como medidas y políticas influir negativamente en las actividades petroleras y de suministro de gas en Alberta de mitigación del cambio climático.

Análisis/Comentarios:

Este documento hace algunas suposiciones acerca de los efectos del cambio climático sobre la vialidad invernal. Corta: si los inviernos se hacen más cortos, los costos de mantenimiento de invierno y la limpieza de la nieve deben reducirse.

Área/Tipo de Clima:

*Canadá, varía de templado en el sur a sub ártico y ártico en el norte.
Problemas de nieve, hielo y deslizamientos:*

Adaptación al cambio climático en las construcciones, operación y mantenimiento de carreteras

(Arvidsson et al., 2012a) [45]

Extracto:

Este informe tiene como objetivo proporcionar una visión de las adaptaciones climáticas necesarias para el transporte por carretera con un enfoque en condiciones suecas.

El informe se ocupa de la historia de la obra de Suecia sobre adaptación al cambio climático en la infraestructura de transporte, efectos de los cambios climáticos, la forma en que afectan a los sistemas de transporte por carretera de diversas maneras, y los riesgos y las vulnerabilidades del cambio climático en Suecia y Escandinavia.

La relación entre el clima (temperatura, humedad, precipitación) y la construcción de carreteras es complejo y es difícil de predecir los parámetros climáticos internos de una estructura desde el ambiente externo. Además, el diseño condiciones de contorno tales como las condiciones hidráulicas y las condiciones de drenaje y su eficiencia son importantes. Propiedades de los materiales Road, consolidados y no consolidados, también se ven afectados por el clima. Cuando el clima cambia comportamiento en carretera y la longevidad también se ven afectados. Puesto que los efectos del cambio climático varían entre zonas climáticas de Suecia, el impacto del cambio climático en el comportamiento en carretera y la longevidad es muy difícil de predecir.

Análisis/Comentarios:

Este informe trata de responder a la pregunta sobre la adaptación al cambio climático de la construcción de carreteras y cómo los diferentes parámetros climáticos cambiarán y qué hacer para mantener un buen nivel de carreteras.

Área/Tipo de Clima:

Suecia, templado en el sur con inviernos fríos, nublados y veranos frescos, parcialmente nublados; sub árticas en el norte.

El impacto del cambio climático en el uso de descongelante y anticongelante en Suecia

(Arvidsson et al., 2012b) [7]

Extracto:

Las necesidades futuras de mantenimiento de invierno probablemente estar influenciados por el cambio climático de diferentes maneras en diferentes partes del mundo. Como Suecia es un país con varias zonas climáticas, la influencia del cambio climático en la vialidad invernal, por tanto, será diferente entre las distintas regiones del país.

Para entender la influencia del cambio climático sobre las necesidades futuras de la sal de consumo en el mantenimiento de invierno, modelado de datos meteorológicos carretera se calcula dentro del proyecto «IRWIN» (un proyecto conjunto de investigación a través de «ERA-NET ROAD», financiado por el 6º Programa Marco de la CE), donde los escenarios de cambio climático de ECHAM5 (la quinta generación del modelo de circulación general ECHAM Instituto Max Planck de Meteorología) se combinó con datos de campo del sistema de información sobre el clima carretera (RWIS) en Suecia.

Estos datos meteorológicos carretera modelado se utilizó en el proyecto KLIVIN (el estudio presentado en este artículo) en tres regiones suecas (Gotemburgo, Estocolmo y Sundsvall) y se combinó con el índice de gravedad de invierno sueco con el fin de calcular las tendencias de las futuras necesidades de sal.

En este estudio se calcularon las necesidades de sal para cada una de las tres regiones investigadas en períodos de 30 años entre 1970 y 2100. El resultado muestra que el consumo de sal en relación con las nevadas disminuirá en las tres regiones, mientras que el uso de sal en relación con la temperatura aumentará en la región más septentrional (Sundsvall) y muestran una pequeña disminución en las otras dos regiones (Gotemburgo y Estocolmo).

Análisis/Comentarios:

Este artículo puede ser de interés para predecir la cantidad de mantenimiento de carreteras de invierno con un clima cambiante. Necesidad futura para la sal.

Área/Tipo de Clima:

Suecia, templado en el sur con inviernos fríos, nublados y veranos frescos, parcialmente nublados; sub árticas en el norte.

Problemas de nieve, hielo y deslizamientos:

Nieve y hielo.

Últimas tendencias de Cambios en Nevadas y Profundidad de Nieve en Japón y su Impacto en las Medidas de Control de Nieve

(Matsuzawa et al., 2012) [33]

Extracto:

Recientemente, regiones frías y nevados de Japón en ocasiones han visto tendencias de las nevadas más ligero debido a los inviernos cálidos y fuertes nevadas en zonas que antes tenían poca nieve, nevadas localizada muy pesado, y otros patrones inusuales nevadas. Se considera importante que la nieve y el hielo de control para comprender la metamorfosis relacionada con el cambio climático de los entornos de nieve y hielo para permitir que la contribución al desarrollo de la nieve a largo plazo y planes de control de hielo y medidas. En consecuencia, en este estudio, las tendencias de cambio en las nevadas y la cubierta de nieve en los últimos 26 años fueron encuestados usando los datos del pasado. Los artículos encuestados eran de temporada profundidad máxima de la nieve; acumulada nevadas estacionales; máxima de 24, 48-, y 72-h nevadas desde el inicio de la caída de nieve; la frecuencia de días con nevadas por un total de 30 cm o más; y el número de días con la capa de nieve continua en invierno. Los resultados recogidos revelaron que la profundidad máxima anual de la capa de nieve y el número de días con nevadas por un total de 30 cm o más estaban en el lugar en el este de Hokkaido, donde se enfrenta el Mar de Ojotsk y el Océano Pacífico. En general, esta región se considera que tiene poca nieve, siempre y cuando los patrones de presión de invierno continúan estables, mientras que los aumentos nevadas cuando baja presión se desarrolla sobre el Océano Pacífico y el Mar de Ojotsk. Se aclaró que hubo cambios en los patrones de nevadas y en la distribución de áreas con fuertes nevadas.

Análisis/Comentarios:

Papel interesante de los cambios en las nevadas y aunque estudiaron los datos del pasado que todavía se puede utilizar como base para la discusión sobre la asignación de las máquinas de remoción de nieve.

Área/Tipo de Clima:

Japón, varía de tropical en el sur a templado frío en el norte.

Problemas de nieve, hielo y deslizamientos:

Nieve.

Eventos de clima extremo y transporte en carreteras y rieles en Alemania

(Trinks et al., 2012) [21]

Extracto:

Las autoridades de protección civil, empresas de transporte y los operadores necesitan información detallada sobre los impactos de los fenómenos meteorológicos extremos en los sistemas de transporte con el fin de adaptar las estrategias de gestión de riesgos y emergencias. Debido a la falta de datos para Alemania una estrategia pragmática para establecer vínculos entre los fenómenos meteorológicos extremos y los efectos adversos sobre el transporte por carretera y ferrocarril, se propone explotar opiniones oficiales anuales del Servicio Meteorológico Alemán (DWD). En Alemania el transporte por carretera se interrumpe principalmente debido al hielo y la nieve, mientras que el transporte ferroviario es más vulnerable a los fuertes vientos y las condiciones de invierno también. A través de la evidencia empírica proporcionada, puntos de acceso para el riesgo y la gestión de emergencias en el transporte por carretera y ferrocarril en relación con los fenómenos meteorológicos extremos se pueden establecer. Se dan recomendaciones para instrumentos para integrar los fenómenos meteorológicos extremos en la gestión de riesgos y emergencias de la carretera y el transporte ferroviario.

Análisis/Comentarios:

Interesante, pero sólo tenemos extractos,

Área/Tipo de Clima:

Alemania, templado y marino; inviernos húmedos nublados fríos y veranos; viento Foehn cálido ocasional.

Problemas de nieve, hielo y deslizamientos:

Climas extremos.

Globale Ursachen - Regionale Folgen: Kuenftige Entwicklung des Winterwetters in Deutschland / Causas globales; consecuencias regionales

(Schipper, 2012) [34]

Extracto:

El tema del cambio climático ha crecido de manera constante en importancia en la esfera pública en los últimos años. Entre otras cosas, la reacción de la prensa a las dos últimas Conferencias de Cambio Climático en Copenhague y Cancún, han contribuido a este desarrollo. En estas conferencias, los políticos trataron de encontrar un compromiso entre una economía en crecimiento y la protección del clima sostenible. El hecho de que esto era sólo un éxito parcial ilustra la magnitud de los conflictos de intereses entre las naciones del mundo. Debido a que el clima es esencial para todo el mundo, le corresponde a cada uno de nosotros a tomar medidas. Para ello, es importante estar familiarizado con los últimos resultados de la investigación del clima y saber cómo convertir estos resultados en las medidas que valen la pena. Tomando el ejemplo de cómo el clima invernal se desarrollará en el futuro, el documento examina la capacidad de poner en práctica de los resultados de la investigación del clima en aplicaciones prácticas.

Análisis/Comentarios:

Interesante, pero sólo tenemos extractos.

Área/Tipo de Clima:

Alemania, templado y marino; inviernos húmedos nublados fríos y veranos; viento Foehn cálido ocasional.

Problemas de nieve, hielo y deslizamientos:

Mantenimiento por cambios climáticos.

Impacto de climas extremos en los sistemas de transporte

(Leviäkangas et al., 2011) [46]

Extracto:

Este informe resume el trabajo realizado en el proyecto 7 FP EWENT p, su primer paquete de trabajo. D1 entregable presenta una revisión de los fenómenos meteorológicos extremos y se identifican sus impactos y consecuencias en el sistema de transporte europeo. Todos los modos de transporte están cubiertos. Se utilizan dos métodos principales. En primer lugar, hay una extensa revisión de la literatura sobre los eventos climáticos extremos y sus impactos y consecuencias. Pues más de 150 referencias científicas y profesionales se estudian y se enumeran. Esto es seguido por una revisión de medios de comunicación informaron casos, casi 200 de ellos. Con la ayuda de estos dos métodos y materiales que proporcionan, se enumeran los valores de umbral críticos para fenómenos meteorológicos más relevantes que afectan a los diferentes modos de transporte. Los fenómenos tienen efectos y consecuencias que se traducen en un deterioro en el nivel de servicio del sistema de transporte. Una docena de diferentes mecanismos de impacto se trazaron y adjuntan al presente informe. Por último, breve resumen de los resultados se extrae, incluyendo una discusión de primera impresión sobre las implicaciones estratégicas. La precipitación en todas sus formas (agua, nieve, granizo) parece dominar los impactos nocivos. Sistema de transporte por carretera parece ser el más vulnerable de los modos.

Análisis/Comentarios:

Interesante, pero tal vez más en el transporte de mantenimiento.

Área/Tipo de Clima:

Europa.

Problemas de nieve, hielo y deslizamientos:

Clima extremo.

Variabilidad del Clima y Cambios con Implicaciones en Transportes

(Peterson et al., 2008) [35]

Extracto:

El sistema de transporte de Estados Unidos fue construido para el tiempo y el clima típico experimentado localmente. Cambios moderados en el clima medio tienen poco impacto en el transporte. Sin embargo, los cambios en el clima y los extremos climáticos pueden tener un impacto considerable en el transporte. Transporte medidas pertinentes de los extremos han ido cambiando en los últimos decenios y se prevé que seguirá cambiando en el futuro. Algunos de los cambios es probable que tengan un impacto positivo en el transporte y otros negativos. Como se calienta el clima, temperaturas frías extremas se prevé que seguirá disminuyendo. Condiciones invernales más leves probablemente mejorar el nivel de seguridad para el ferrocarril, aire y barcos. Extremos cálidos, por otro lado, se prevé un aumento. Este cambio es probable que aumente el número de capa de balasto de vía del ferrocarril y el pandeo e impacte negativamente en los trabajos de mantenimiento. A medida que disminuye la temporada de frío y los aumentos de estación cálida, el transporte norte depende de las carreteras de hielo y permanentemente congelado suelo se vería afectada negativamente, mientras que la apertura comercial proyectada del Paso del Noroeste se traduciría en beneficios claros para el transporte marítimo. El calentamiento también produciría un beneficio secundario de un mayor cambio de la precipitación de la nieve a la lluvia. Pero no es probable que sean beneficiosos todos los cambios de precipitación. Se prevé un aumento de fuertes precipitaciones que pueden causar inundaciones locales. Al mismo tiempo, el secado de verano en el interior del continente es probable que contribuya a bajos niveles de agua en las vías navegables interiores. Se prevé un aumento de fuertes tormentas, incluyendo huracanes. Infraestructura de transporte costera es vulnerable a los efectos combinados de las mareas de tempestad y la subida global del nivel del mar. La planificación del transporte opera en varias escalas en tiempo diferentes. Planificadores de carretera normalmente dan 25 años. Planificadores de ferrocarril consideran 50 años. Y los puentes y pasos inferiores están diseñados generalmente con 100 años en mente. En todos los casos, la planificación que se lleva a los probables cambios en consideración será importante.

Análisis/Comentarios:

Interesante, pero más en el transporte de mantenimiento.

Área/Tipo de Clima:

EE.UU.

Problemas de nieve, hielo y deslizamientos:

Impacto del cambio climático

El Impacto Potencial del Cambio Climático en el Transporte de EE.UU.

(Caldwell et al., 2003) [47]

Extracto:

Este trabajo presenta los resultados de un análisis preliminar de los posibles impactos que el cambio climático global puede tener en el movimiento de carga, el examen de las implicaciones para las instalaciones y la infraestructura física y también los patrones de demanda o para el envío de mercancías. Escenarios de cambio climático utilizados por la Evaluación de Selección Nacional de Síntesis en la preparación de su informe «Impactos del Cambio Climático en los Estados Unidos» sugieren que durante el curso del siglo 21 la temperatura en la Tierra es probable que caliente en el rango de 3 a 10 grados Fahrenheit. Como resultado, la evaporación se incrementará, el derretimiento del hielo y la precipitación se intensificará, los niveles del mar aumentarán, y se espera que los patrones climáticos serán más variable. En los Estados Unidos, como en otros países, este tipo de efectos derivados del cambio climático podrían tener un impacto importante en el movimiento de carga en todas sus modalidades: carretera, ferrocarril, aire y agua. Mientras que algunos de los efectos del calentamiento global sobre el transporte de mercancías es probable que sea positivo, como un menor número de retrasos y accidentes atribuibles a la nieve y el hielo en invierno, otros tienden a ser negativos, tales como daños por inundaciones y tormentas más frecuentes de larga data en las instalaciones portuarias. Se puede lograr una mitigación mediante la planificación con visión de futuro e inversiones estables a largo plazo. Después de una breve descripción de la situación actual del sistema de transporte de mercancías de la nación, este trabajo resume los impactos probables sobre el transporte de mercancías que pudiera resultar de los cambios climáticos ambientales relacionados con el cambio que se proyectan a ocurrir en los próximos 100 años.

Análisis/Comentarios:

Área/Tipo de Clima: EE.UU.

Problemas de nieve, hielo y deslizamientos:

Impacto del cambio climático.

Evaluación nacional de consecuencias de las variabilidades del clima y cambio para EE.UU.

(MacCracken, 2003) [48]

Extracto:

El clima es una influencia importante en el medio ambiente y la sociedad. Se reflejan variaciones de año a año en cosas tales como el número y la intensidad de las tormentas, la cantidad de agua que fluye en los ríos, el alcance y la duración de la capa de nieve, los cambios inducidos por los océanos y corrientes en la altura del nivel del mar, y la intensidad de las olas que golpean las regiones costeras y erosionan la costa. Estos factores, a su vez determinan la productividad agrícola, la ocurrencia de inundaciones y sequías, la seguridad de las comunidades y la productividad general de la sociedad. La ciencia ahora sugiere que las actividades humanas están causando el cambio natural del clima, sobre todo mediante la inducción de calentamiento global y una intensificación asociada del ciclo hidrológico global. Aunque los detalles todavía están surgiendo acerca de la magnitud, patrón regional, y el momento de los cambios proyectados para el próximo siglo, es ampliamente reconocido que el clima va a cambiar. De hecho, las temperaturas han aumentado en muchas áreas, el hielo marino del Ártico es mucho más delgado, la capa de nieve continental no está durando tanto tiempo en la primavera, y la precipitación total es cada vez mayor, con más precipitaciones ocurriendo en aguaceros intensos. Estos cambios también parecen estar afectando a la distribución de las plantas y la vida silvestre. Hay evidencia de una temporada de crecimiento más larga en las zonas del norte y el cambio de rangos para las mariposas y otras especies. Para abordar estas cuestiones, el Congreso estableció el Programa de Estados Unidos Investigación del Cambio Global (USGCRP) y dio instrucciones a las agencias federales de investigación para cooperar en el desarrollo y la coordinación de «un amplio programa de investigación de Estados Unidos que asista a la Nación y al mundo en comprender, estimar y predecir y dar una respuesta al cambio global inducido por actividades humanas y procesos naturales». Además, el Congreso ordenó que la USGCRP prepare y presente al Presidente y al Congreso una evaluación de las consecuencias de la variabilidad del clima y el cambio para los Estados Unidos. El resto de este artículo discute dicha evaluación nacional.

Análisis/Comentarios:

No es servicio de invierno.

Área/Tipo de Clima:

EE.UU.

Problemas de nieve, hielo y deslizamientos:

Impacto del cambio climático.

Índice de clima de invierno para los costos estimados del mantenimiento de carreteras en invierno en Midwest

(Carmichael et al., 2004) [15]

Extracto:

Los datos del presupuesto de mantenimiento de carretera de invierno para el estado de Iowa se han combinado con los datos climáticos disponibles para un período de 6 años para crear un índice de clima de invierno que ofrece una evaluación útil de la severidad del invierno. El índice de clima puede ser combinado con medidas de infraestructura del Departamento de Transporte de una región para estimar los gastos durante un período de tiempo determinado en la región. El índice fue desarrollado utilizando técnicas de redes neuronales artificiales que son no lineales y perciben patrones en los datos de entrada. Un clima de invierno severo como diagnosticado por el índice se correlaciona bien con el Departamento de Costos en el Tratamiento de Carreteras de Iowa. El índice basado en la red neuronal muestra un mejor desempeño que el índice del Programa de Investigación Estratégica de Carreteras (SHRP) y un índice desarrollado mediante técnicas de regresión lineal.

Análisis/Comentarios:

No sobre el cambio climático, pero podría ser utilizado en las discusiones de los costes de mantenimiento y podría ser aplicable en las predicciones.

Área/Tipo de Clima:

EE.UU., Iowa

Impactos del Cambio Climático en la Infraestructura de Transportes en Alaska

(Smith and Levasseur, 2003) [49]

Extracto:

La economía de Alaska depende extraordinariamente en la eficiencia de su limitada infraestructura de transporte para las exportaciones de minerales, la pesca y el turismo. Las pistas de aterrizaje de grava, muchas de ellas construidas en permafrost, mantienen tenuemente el nivel de vida de los cientos de comunidades de Alaska y sin conexiones por carretera. El calentamiento global proyecta traer un mayor patrón de clima invernal errático, el aumento de la frecuencia de los ciclos de congelación-descongelación. Mientras esto ocurre, las carreteras, vías férreas y pistas de aeropuertos de Alaska sufrirán problemas concomitantes y los costos de mantenimiento es probable que aumenten. En este trabajo se pretende abrir la discusión de estos y otros impactos potenciales del calentamiento global en Alaska.

Análisis/Comentarios:

Interesante, pero no se aplica en muchas partes del mundo.

Área/Tipo de Clima:

Alaska, EE.UU., Ártico.

Problemas de nieve, hielo y deslizamientos:

Ciclos de descongelamiento.



Copyright por la Asociación Mundial de la Carretera. Todos los derechos reservados.

Asociación mundial de la Carretera (PIARC)

Tour Pascal B, 19^e étage

92055 La Défense CEDEX, FRANCE

Número Internacional Normalizado para Libros (ISBN): 978-2-84060-439-6

Portada © Staffan Möller, VTI