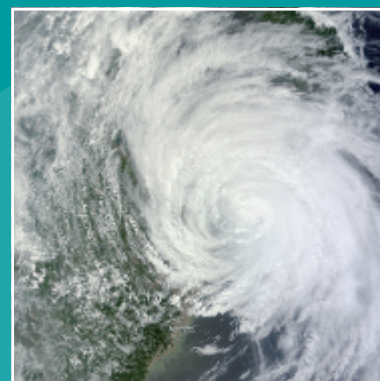


# Valoración de las inversiones en sistemas de proceso de datos y de predicción

## Las implicaciones de la experiencia de la KMA

por Woo-Jin Lee<sup>1</sup>



Los tres principales componentes operativos de los sistemas de generación diaria de productos meteorológicos son: la observación en tiempo real y la recogida de datos, el intercambio mundial rutinario de datos e información, y el proceso operativo sistemático de datos para producir análisis meteorológicos, predicciones numéricas del tiempo (PNT) y pronósticos y avisos meteorológicos. Por lo tanto, estos tres componentes —el Sistema Mundial de Observación (SMO), el Sistema de Información de la OMM (SIO) y el Sistema Mundial de Proceso de Datos y de Predicción (SMPDP)— han formado la columna vertebral del Sistema de Vigilancia Meteorológica Mundial (VMM).

Estos sistemas requieren importantes inversiones con el fin de atender la necesidad pública de utilizar la información meteorológica y climática para mitigar el riesgo de desastres y para salvaguardar vidas y bienes. ¿Son los servicios resultantes dignos de la inversión? ¿Puede el servicio meteorológico valorarse con el fin de determinar el rendimiento de las inversiones? La Administración Meteorológica de Corea (KMA), después de haber realizado fuertes inversiones en sus sistemas de proceso de datos y de predicción (SPDP), hizo de la valoración de sus servicios una de sus finalidades. Se invirtió en una moderna infraestructura tecnológica y en especialización científica en diversos campos incluyendo telecomunicaciones, sistemas automatizados para la obtención de observaciones, e instalaciones de gestión de datos (almacenamiento, recuperación, proceso y manipulación, control de calidad); también se invirtió en una programación de la producción automatizada de PNT y un sistema de control; en informática e ingeniería para la PNT; y en un sofisticado sistema de integración y visualización de datos. ¿Cuál es el valor de los servicios meteorológicos y climáticos resultantes en la vida cotidiana de la población?

La importancia relativa de la información del tiempo en la vida cotidiana depende de la naturaleza de las actividades que se desarrollan, de los regímenes climáticos y del grado de desarrollo socioeconómico de un país. Cada Servicio Meteorológico Nacional también actúa

en su propio entorno nacional único: las condiciones económicas, la percepción de la opinión pública sobre el tiempo y el clima, la importancia relativa dentro del amplio abanico de prioridades gubernamentales, los procesos de toma de decisiones para la financiación gubernamental, el interés social o la confianza en la prevención y en la mitigación frente a la recuperación tras los desastres, etc. Sin embargo, las implicaciones del estudio de la KMA siguen siendo necesarias para todos. El ejercicio de valoración ha puesto de relieve que el nivel de servicios que la KMA proporciona, gracias a sus inversiones en el SPDP, es muy apreciado y supone un beneficio para la sociedad a la que sirve.

### Inversiones en proceso de datos y predicción

El proceso de datos y la predicción (PDP) se ocupa de las complejas habilidades técnicas y de la diversidad tecnológica necesarias para la PNT en todas las escalas temporales, incluyendo la asimilación de datos, la integración de los modelos numéricos de la atmósfera, el postproceso de datos de observación y de predicción, la interpretación de las salidas de los modelos, y la producción de predicciones y avisos meteorológicos. La KMA ha invertido en el desarrollo de sus PDP durante varias décadas, y ha mejorado su sistema a lo largo de las diferentes fases de la infraestructura técnica, avanzando desde la interpretación gráfica de las salidas de PNT y la aplicación de salidas de modelos binarios, hasta la ejecución de un modelo regional de PNT con condiciones de contorno laterales obtenidas de otros centros, a fin de operar un modelo regional con un sistema de asimilación de datos que permita una introducción de observaciones en tiempo real con objeto de alcanzar la fase más avanzada de ejecución de un modelo global con asimilación variacional de datos en cuatro dimensiones (4D-Var).

En primer lugar, la KMA centró su estrategia en dos áreas donde alcanzar logros significativos. Inicialmente, la automatización de las telecomunicaciones que se convirtió en la base de su sistema de proceso de datos, y a continuación, la adquisición de un primer sistema de superordenador, que fue instalado en 1999. Esta adquisición reflejó el apoyo nacional a la instalación y aplicación de un modelo vanguardista de simulación

<sup>1</sup> Administración Meteorológica de Corea.

numérica de área limitada (MAL) de la atmósfera en un centro de supercomputación, y abrió el camino para la creación de un grupo de modelización atmosférica que, a su vez, llevó a la captación de apoyo financiero para el desarrollo de programas informáticos y aplicaciones con el fin de satisfacer muchas necesidades nacionales. En la medida que ha continuado con estos elementos hasta la actualidad, la KMA ha mantenido sus activos de SPDP al adoptar avances tecnológicos y al invertir en jóvenes científicos que se han sentido atraídos por el entorno tecnológico innovador en la KMA, dando lugar con ello a unos productos y servicios operativos más adecuados para satisfacer la creciente necesidad de predicciones meteorológicas y medioambientales.

## Entorno social

Como se dijo anteriormente, el valor de los productos y servicios meteorológicos y climatológicos ofrecidos a una sociedad depende del contexto socioeconómico y medioambiental. La KMA presta servicio a una población que vive en un área propensa a los desastres naturales. La República de Corea se ve afectada por los diversos fenómenos meteorológicos violentos de los países situados en latitudes medias, como son la lluvia fuerte y los temporales de nieve, los ciclones tropicales, los temporales de arena y polvo amarillo en Asia, las tormentas severas con vientos violentos, el granizo y los rayos, y las temperaturas extremas. Durante el verano, hay fuertes lluvias en la península de Corea debido a las tormentas tropicales. La accidentada orografía del 70 por ciento de la superficie terrestre del país y el entorno geográfico único, con influencias del continente asiático en confrontación con las del océano Pacífico, añaden complejidad al clima de latitudes medias de la nación, así como a los desafíos para proteger a las personas y a sus actividades económicas de las tensiones y extremos meteorológicos.

Las áreas densamente pobladas —limitadas a las zonas metropolitanas e industrializadas— así como la combinación del entorno demográfico y social, constituyen el

reto de los sistemas de predicción del tiempo y de los predictores de la KMA.

## Rendimiento técnico

La valoración del PDP debe ser vista desde dos perspectivas: la evaluación del rendimiento técnico y su relación con las condiciones económicas. Para evaluar los resultados pueden utilizarse de forma eficaz tanto las medidas de verificación estándar acordadas por la Comisión de Sistemas Básicos (CSB) de la OMM como algunas otras. La conversión de los resultados de la verificación en términos monetarios exige además una traducción, que incluya los supuestos necesarios, para crear información valiosa que conecte las salidas de la producción, es decir, básicamente, que los productos y los servicios deben estar vinculados a su consumo en la sociedad.

Entre los atributos de las predicciones se incluyen la exactitud o fiabilidad, la coherencia, la precisión y el plazo de entrega de la predicción: cada uno de ellos mide diferentes aspectos del rendimiento técnico. Relacionando el rendimiento con los costes operativos, puede deducirse el valor de la inversión en PDP y el valor relativo asociado entre los diferentes atributos. Verificar la exactitud es el objetivo más común, y es universalmente compartido por los centros de predicción numérica del tiempo de la OMM.

El beneficio del PDP en términos de exactitud se hace más evidente a partir de las últimas salidas de los modelos del Centro europeo de predicción meteorológica a medio plazo (CEPMMP). El error cuadrático medio (RMSE) en el nivel de 500 hPa del modelo global del CEPMMP muestra una mejora en las últimas décadas, sobre todo en el hemisferio sur y en el medio plazo. La misma tendencia con un mayor grado de mejora en el tiempo se puede encontrar en la ejecución de la PNT en la KMA. El RMSE actual en las predicciones a cinco días es comparable al de los pronósticos a tres días de hace 10 años. La predecibilidad se ha ampliado dos días más en el tiempo en los últimos 10 años.



Ejemplo de predicción gráfica con resolución espacial de 5 km x 5 km en la página web de la KMA ([www.digital.go.kr](http://www.digital.go.kr))

La mayor exactitud se debe en parte a la investigación y el desarrollo en la asimilación de datos satelitales y a la parametrización física, y también a la rápida transferencia de tecnología desde los centros meteorológicos más avanzados. La frecuente actualización de los superordenadores en la última década ha contribuido asimismo a una mejora del rendimiento del modelo. Los avances en la modelización de alta resolución han contribuido a aumentar la eficacia de los avisos de fuertes precipitaciones, junto con los progresos alcanzados en las herramientas de predicción inmediata, las técnicas de aplicación de datos de radar y las técnicas de predicción por conjuntos multimodelos.

La mejora en el pronóstico de las trayectorias de los ciclones tropicales, incluyendo el aumento del plazo de entrega, ha contribuido de manera significativa a elevar la eficacia de las predicciones y de los avisos de alerta temprana que anticipan las precipitaciones fuertes hasta en cinco días. El avance del PDP y el aumento de la densidad de la red de observación posibilitan también nuevos servicios para el beneficio público. Por ejemplo, fue posible llevar a cabo previsiones a una escala de pueblo con una malla de 5 kilómetros cuando la resolución y la exactitud de los modelos regionales alcanzaron niveles de calidad aceptables. Actualmente, la KMA ofrece cada hora actualizaciones de los pronósticos a dicha escala basadas en interpretaciones humanas de la base de datos de predicción numérica para diez elementos meteorológicos entre los que se encuentran la temperatura, la precipitación, el viento y la humedad relativa.

El beneficio social de las inversiones en el SPDP se puede controlar a través de encuestas de satisfacción de los usuarios, una medida indirecta del valor de la inversión del PDP. La KMA realiza estas encuestas públicas dos veces al año. Los índices de satisfacción de los usuarios, obtenidos a partir de las encuestas realizadas entre 2007 y 2011, variaban de un 60 a un 80 por ciento para las predicciones a corto plazo y los avisos, y mostraban niveles ligeramente más bajos de satisfacción para los pronósticos semanales. El índice de satisfacción ha aumentado progresivamente en los últimos cinco años en 11,8 puntos para las predicciones a corto plazo, en 20,6 puntos para las de medio plazo y en 12,3 puntos para los avisos. Además, más de dos tercios de la población utilizan las predicciones con plazos de previsión de uno a tres días para tomar decisiones cotidianas.

### **El valor de las predicciones y de los avisos**

La KMA ofrece predicciones diarias y avisos a los ciudadanos coreanos y a los visitantes extranjeros para proteger vidas y propiedades frente a la meteorología y el clima adversos, como normalmente cabe esperar de un servicio meteorológico nacional. Esto incluye previsiones semanales y de largo plazo para la temperatura, el viento y la precipitación, así como avisos de lluvias fuertes o de nieve, de viento fuerte, de tormentas severas, de mareas de tempestad y de ciclones tropicales.

Teniendo en cuenta los resultados de las encuestas y los estudios económicos realizados por la KMA, una familia media coreana está dispuesta a pagar 20 424 won surcoreanos al año por los servicios meteorológicos y

climáticos, lo que equivale a un total de 3 589 millones de won surcoreanos (o 3 300 millones de dólares de Estados Unidos) al año. Esta cantidad es equivalente al 145 por ciento del presupuesto anual de la KMA. El valor potencial de las mejoras adicionales en las predicciones y en los sistemas de aviso para el público supera el 45 por ciento del presupuesto anual de la KMA. Por lo tanto, desde el punto de vista exclusivamente de servicio público, el valor que se obtiene de la inversión en la infraestructura de la predicción de la KMA representa aproximadamente 1 119 millones de won surcoreanos (o 1 100 millones de dólares). Hay que señalar que el valor estimado es conservador, ya que no incluye el valor adicional por la mejora de los servicios proporcionados por el sector comercial.

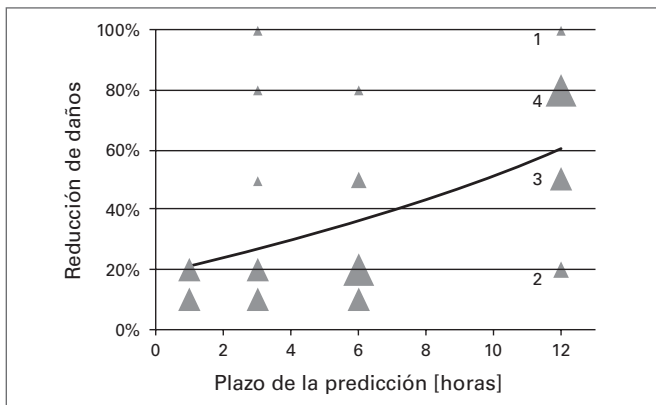
El valor de la producción de predicciones y avisos con una calidad garantizada se puede dividir de forma burda en beneficios directos e indirectos. La generación de avisos oportunos y exactos contribuye directamente a mitigar la pérdida de vidas, propiedades, infraestructura y medios de subsistencia derivados de episodios meteorológicos y climáticos adversos, lo que a su vez proporciona beneficios indirectos adicionales en el sector comercial. Pero, en la mayoría de los casos, estos beneficios indirectos no pueden transformarse fácilmente en términos monetarios.

Las medidas de protección física, tales como los sistemas de drenaje y de diques, se considera que proporcionan beneficios a corto plazo, mientras que las medidas orientadas a reducir la vulnerabilidad, como una mejor comprensión de los riesgos, los sistemas de alerta temprana y los programas de seguros, ofrecen rendimientos mucho más a largo plazo. De acuerdo con el estudio de Hallegatte (2012), a partir de una inversión de 1 000 millones de dólares en sistemas de alerta temprana pueden lograrse grandes rentabilidades de hasta 36 000 millones de dólares. El beneficio potencial sobre el coste de la inversión oscila entre un factor de 4 a 36.

Existen muchos atributos medibles en un pronóstico que a menudo se compensan: invertir en la mejora de un atributo significa la pérdida de otro. Por ejemplo, existe una compensación entre el plazo de la predicción y la fiabilidad de los avisos. Adelantar la entrega de los avisos permite más tiempo para la acción, pero conduce a un aumento en la frecuencia de los avisos que no se materializan, o a un aumento de la "tasa de falsas alarmas". La situación inversa se produce con los avisos fiables, es decir, se logran menores tasas de falsas alarmas con avisos de corto avance. Un plazo de seis horas para los avisos de crecida produce una reducción del 35 por ciento de los daños, mientras que si el plazo es de doce horas se tiene una reducción del 60 por ciento en los daños (Schroter y otros, 2008). En eso radica la complejidad a la hora de estimar el valor de las predicciones y de los avisos con respecto a los diversos atributos clave de los pronósticos.

Es interesante señalar que la observación ha puesto de relieve que los países en desarrollo solo aprovechan una parte del beneficio potencial de los sistemas de alerta temprana. Los países con bajos ingresos únicamente

consiguen un 10 por ciento del máximo beneficio, mientras que los países con ingresos medios o altos ganan un 50 por ciento (Hallegatte, 2012). Cuando la seguridad nacional, la reducción del riesgo de desastres y el desarrollo sostenible son áreas de alta prioridad, puede obtenerse un cierto valor de las inversiones en los sistemas de predicción y de alerta temprana.



Reducción de daños en función del plazo de la predicción, reproducido de Schroter y otros (2008).

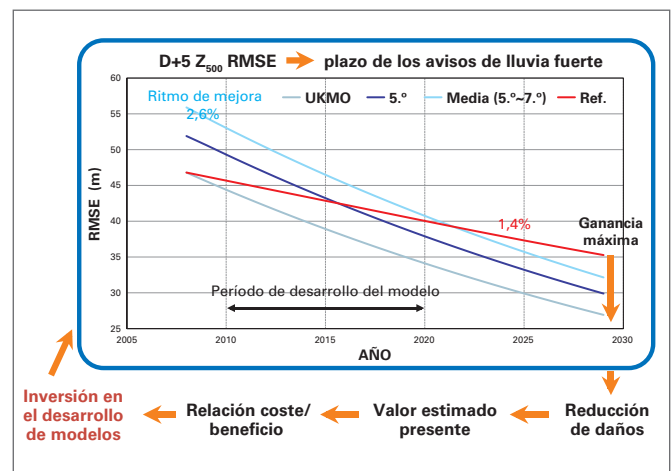
### Valoración de la inversión en la importante predicción numérica del tiempo

La atención se centra ahora en el análisis de costes y beneficios para los principales desarrollos de programas informáticos con el fin de demostrar cómo valorar el PDP. Entre 2011 y 2019, la KMA desarrollará la próxima generación de su modelo de PNT, manteniendo la alta calidad de las predicciones a través de salidas continuas de su modelo unificado adquirido inicialmente en el Servicio Meteorológico del Reino Unido de Gran Bretaña e Irlanda del Norte (UKMO). Este proyecto requiere de recursos humanos y financieros adicionales. El Instituto coreano de desarrollo (KDI) ha estimado el valor económico del proyecto en función de la unidad de incremento del plazo de entrega de los avisos. El procedimiento para la estimación se presenta esquemáticamente en la figura de la derecha. A los efectos de estimar el valor, se utiliza la medida del RMSE de las predicciones a 5 días vista de las alturas geopotenciales de 500 hPa. Se definen tres vías experimentales y un camino de control para evaluar la tasa de mejora en función del RMSE, partiendo del RMSE inicial de 2008.

En el caso de las vías experimentales, se considera el ritmo constante de mejora del 2,6 por ciento para el proyecto de desarrollo del modelo, que se basa en la media de los RMSE entre centros desarrollados con modelos de desarrollo propio (KDI, 2010). Diferentes RMSE iniciales en 2008 condujeron a diferencias en la evolución de RMSE en las vías experimentales. En cambio, para el camino de control o de "referencia" se considera un ritmo constante de mejora menor, de un 1,4 por ciento, que tiene en cuenta la experiencia anterior en la KMA en la que se carecía de un modelo de desarrollo propio. El interés principal radica en comparar la vía de control

partiendo del RMSE inicial del UKMO (considerado uno de los mejores centros mundiales de PNT en 2008), con el razonable camino experimental a partir del valor del RMSE inicial del quinto centro clasificado, y la media de los valores de RMSE de los centros clasificados en los lugares quinto y séptimo en 2008.

La ganancia en términos de diferencias de RMSE entre el camino de control y las vías experimentales puede contabilizarse en valores monetarios. La relación entre la inversión en el desarrollo de programas informáticos de PNT y su efecto en el plazo de los avisos de fuertes lluvias durante los meses de verano se evalúa a partir del último registro de la KMA para determinar la reducción de las pérdidas económicas debido a la emisión de alertas más tempranas. La relación coste-beneficio del proyecto es de 1,1 entre el valor presente de los beneficios totales de 79 000 millones de won surcoreanos (o 71 millones de dólares) y el coste de la inversión de 72 000 millones de won surcoreanos durante el período de tiempo que va desde 2011 hasta 2029, con los valores monetarios



Errores cuadráticos medios (RMSE) de las predicciones a 5 días vista de las alturas geopotenciales de 500 hPa para el período del proyecto de desarrollo del modelo (2010-2019) y hasta 2029.

futuros descontados del momento actual a un ritmo de un 5,5 por ciento por año.

Además del proyecto de desarrollo de programas informáticos de PNT, la inversión anual en herramientas del sistema de predicción requiere 7000 millones de won surcoreanos, dato que se espera que aumente el beneficio equivalente a 600 000 millones de won surcoreanos pues se considera que un aumento de un minuto en el plazo de los avisos equivale a una reducción del 0,05 por ciento de los daños (KMA, 2003) y que un 1 por ciento de aumento en la exactitud de los pronósticos conduce a una reducción del 2 por ciento en los daños (Park, 2002). Se espera que la creación de un centro de avisos de tifones de la KMA en un edificio nuevo con expertos y personal de apoyo de 20 profesionales, junto con los costes operativos relacionados y la financiación de la investigación, den lugar a una reducción de costes de unos 240 000 millones de won surcoreanos, es decir,



13 veces los costes operativos anuales. Se calcula que pueden reducirse los daños en un 5 por ciento mejorando el sistema de alerta temprana (Instituto coreano de ciencia y tecnología para la evaluación y la planificación, 2005).

### Recaudación de fondos

Para asegurar el apoyo de las instancias normativas, incluidos legisladores y organismos de financiación, resulta fundamental la importante tarea de promover el valor de las predicciones y de los avisos, así como de otros servicios meteorológicos. La KMA involucra activamente a los líderes gubernamentales en temas clave del programa para fomentar el apoyo colateral entre los diferentes organismos gubernamentales y para crear el mayor mercado posible para los productos y los servicios meteorológicos de valor añadido (Kim y Renee, 2005). La iniciativa del gobierno surcoreano en el crecimiento ecológico apoya la implementación de un sistema de alerta temprana para la reducción del riesgo de desastres, y la ampliación de la aplicación de información climática para la conservación de energía y la producción de energía renovable. Los medios de comunicación son útiles para llamar la atención de las autoridades presupuestarias y de la asamblea nacional sobre la necesidad de invertir en los PDP, especialmente durante los períodos de recuperación de los efectos desastrosos de episodios meteorológicos y climáticos severos.

Como resultado de la promoción y de la recaudación de fondos, el presupuesto destinado a la investigación meteorológica en Corea ha aumentado más de diez veces desde 1999. La financiación se ha duplicado cada cinco años lo que, casualmente, coincide con el ciclo de actualización de los superordenadores utilizados en las aplicaciones de PNT. En consecuencia, la investigación en materia de observaciones meteorológicas, predicción del tiempo, clima y meteorología marina ha aumentado considerablemente.

El floreciente éxito del sistema coreano de proceso de datos y de predicción proporciona una base sólida para el progreso de los demás componentes meteorológicos. El resultado ha sido un aumento de la financiación para áreas como la investigación aplicada donde se utilizan modelos y superordenadores, los estudios integrales sobre el cambio climático, las aplicaciones de modelización de calidad del aire y del medio ambiente, la gestión del agua, la conservación de la energía y la geoingeniería.

Aun reconociendo que se han alcanzado unas cotas satisfactorias de desarrollo y crecimiento en la KMA como consecuencia de atribuir un valor social a los productos y servicios obtenidos a partir de las inversiones en PDP, se hace preciso formular una advertencia a quienes deseen

seguir el mismo camino: hay que tener cuidado de no sobrevalorar los beneficios potenciales. Tras haberse exagerado los beneficios para justificar la compra de un superordenador, durante varios años la KMA tuvo que hacer frente a las críticas de la opinión pública debido a que las predicciones meteorológicas asociadas a la inversión en el superordenador no satisfacían las expectativas del público en cuanto a la exactitud de las predicciones en un 100%, ya fuese en la realidad o en su percepción de la calidad de la predicción.

### Resumen

El estudio del caso de la KMA pone de manifiesto el valor de las inversiones en los PDP en las áreas tecnológica y económica. El objetivo de la KMA es compartir sus experiencias con los Miembros de la OMM que buscan apoyo financiero de los gobiernos o de los organismos de financiación para profundizar en el desarrollo de sus propios PDP. La KMA, en colaboración con la Agencia coreana de cooperación internacional, está dispuesta a colaborar con los centros de PDP en los países en desarrollo para compartir sus conocimientos y su experiencia.

El Sistema Mundial de Proceso de Datos y de Predicción de la OMM comprende los sistemas de proceso de datos y de predicción de todos los Miembros y necesitará evolucionar de forma que permita el intercambio de información y de datos de predicción a fin de complementar los sistemas nacionales individuales de proceso de datos y de predicción para cumplir las necesidades nacionales que involucran a varios países.

### Referencias

- Hallegatte, S., 2012: Early warning weather systems have very real benefits. <http://blogs.worldbank.org/developmenttalk>
- KMA, 2003: Optimization and effective operation of KMA super-computer, 202 p.
- Korea Development Institute [Instituto coreano de desarrollo], 2010: Evaluation report for next-generation numerical weather prediction model development project (en coreano), 199 p.
- Korea Institute of S&T Evaluation and Planning [Instituto coreano de ciencia y tecnología para la evaluación y la planificación], 2005: A study for implementation of typhoon center and long term research planning (en coreano), 161 p.
- Park, K.-H., 2002: The analysis of economic effects of KISTI super-computing center. Hankyong University paper series, 34, 37-45.
- Schroter, K., M. Otrowski, C. Velasco, H. P. Nachtnebel, B. Kahl, M. Beyene, C. Rubin y M. Gocht, 2008: Effectiveness and efficiency of early warning systems for flash-floods (EWASE). First CRUE ERA-NET Common Call — Effectiveness and efficiency of non-structural flood risk management measures, 137 p.