

Diseño de un sistema de gestión de datos climáticos bajo una metodología de desarrollo PSP

Juan Pablo Báez-Vásquez, Alberto Portilla-Flores

Universidad Autónoma de Tlaxcala,
Facultad de Ciencias Básicas, Ingeniería y Tecnología,
México

{jpablo@msn.com, alberto.portilla.f}@uatx.mx

Resumen. Los sistemas de observación del clima concentran una gran cantidad de información obtenida a partir de una gran variedad de fuentes como las redes de estaciones meteorológicas, previo a su aprovechamiento es preciso verificar la calidad de los datos; un Sistema de Gestión de Datos Climáticos (CDMS) es la herramienta para la recopilación, gestión y verificación de esos datos. En este artículo se propone un diseño basado en las recomendaciones a cumplir por un CDMS y se propone el uso de una metodología PSP (Personal Software Process) para el desarrollo del mismo.

Palabras clave: Gestión de datos, datos climáticos, ingeniería de SW, PSP, sistemas distribuidos, EMA.

Design of a Climatic Data Management System Under a PSP Development Methodology

Abstract. Climate observation systems concentrate a large amount of information obtained from a wide variety of sources such as weather station networks. Prior to using it, it is necessary to verify the quality of the data; a Climate Data Management System (CDMS) is the tool for the collection, management and verification of these data. This article proposes a design based on the recommendations to be met by a CDMS and the use of a PSP (Personal Software Process) methodology for its development is proposed.

Keywords: Data management, climate data, SW engineering, PSP, distributed systems, EMA.

1. Introducción

El clima se define como las condiciones promedio del sistema climático de un lugar y en un periodo de tiempo concreto, determinado por la interacción de los componentes del sistema (atmósfera, litósfera, criósfera, hidrósfera y biósfera) que es influenciado por la radiación solar y las características de cada elemento; el sistema climático precisa

las condiciones promedio de variables como la temperatura y la precipitación [1]. La climatología aplicada emplea la información y conocimientos meteorológicos y climatológicos para resolver y atender problemas sociales, económicos y medioambientales; por ejemplo, el cambio climático, reducción de riesgo de desastres, desarrollo urbano sustentable, etc.

De lo anterior se deduce la conveniencia de disponer de información exacta y oportuna [2], dicha información derivada de datos meteorológicos y climáticos se sustenta en datos recopilados mediante la observación y el registro amplio y sistemático del clima. El Sistema Mundial de Observación del Clima proporciona observaciones del estado de la atmósfera y la superficie de los océanos [3], los dispositivos empleados con ese fin generalmente están a cargo de los Servicios Meteorológicos e Hidrológicos Nacionales (SMHN) entre otras organizaciones.

Tales dispositivos se agrupan en lo que se denomina redes de estaciones meteorológicas, utilizadas para realizar desde pronósticos agrometeorológicos hasta proyecciones de clima futuro; estas redes generan un gran volumen de datos que deben ser gestionados adecuadamente. Entre los dispositivos que conforman las redes de observación están las Estaciones Meteorológicas Automáticas (EMA), estas no requieren de personal técnico para realizar las observaciones.

Sin embargo, los elementos que conforman una red de estaciones no están exentos de desperfectos o errores en las mediciones; por ello se consideran como fundamentales las actividades rutinarias de verificación de calidad y la homogeneidad de los datos recabados; los sistemas informáticos favorecen la realización de estas tareas a la vez que optimizan su consulta e interpretación.

En este sentido, un Sistema de Gestión de Datos Climáticos (Climate Data Management System o CDMS) es una valiosa herramienta de apoyo para los administradores de las redes meteorológicas que agilizan el trabajo relacionado con la verificación, almacenamiento y difusión de los datos.

La Organización Meteorológica Mundial (OMM) ha publicado distintos documentos con la intención de servir como guías en el desarrollo de los CDMS, se trata de un marco o modelo que describe de forma abstracta los componentes requeridos para la funcionalidad del sistema [4], aunque no definen ni especifican las técnicas o metodologías de la ingeniería de software (SW) que se deben emplear para el desarrollo del CDMS y en consecuencia cumpla y cubra las expectativas y requerimientos de los usuarios de los datos climáticos.

Este sistema que se llevará a cabo de forma individual a priori puede describirse como un desarrollo de software personal y precisamente es que PSP (Personal Software Process) provee las herramientas para plantearlo, afrontarlo y llevar un control adecuado del proyecto mejorando además los métodos de trabajo del ingeniero de SW.

2. Planteamiento del problema

El Departamento de Investigaciones Arquitectónicas y Urbanísticas (DIAU) administra una red de estaciones meteorológicas denominada Red Automática de Monitoreo Meteorológico (RAMM), sin embargo, no cuenta con un sistema informático de apoyo, es decir, no se dispone de herramientas automatizadas para realizar la inspección y control de calidad de los datos; tampoco de una interfaz que

facilite la consulta ni la extracción de la información para su empleo en proyectos de investigación.

Algunas de las causas de ausencia de calidad y de homogeneidad más comunes pueden ser resultado de fallos atribuibles a los instrumentos por el deterioro de sus componentes como los valores fuera del rango de medición, los procesos de transmisión de datos, cambios efectuados durante el mantenimiento de una estación o el cambio de su ubicación, la introducción de datos mediante teclado y su validación.

Cuando se presenta la necesidad de procesar un conjunto de datos se lleva a cabo con el apoyo de hojas de cálculo o herramientas especializadas, por ejemplo, para completar series de datos y para detectar valores fuera de rango, todas ellas requieren de archivos con formatos y estructuras particulares. Se debe considerar también el volumen de los datos, cada EMA acumula el promedio de las observaciones de cada 15 minutos, esto es 96 promedios diarios, lo que representan 595,680 registros por año en conjunto por las 17 estaciones de esta red.

Después de realizar los procesos de verificación de los datos estos se deben conservar, pero actualmente tampoco se cuenta con las herramientas para resguardarlos en una base de datos (BD) de información procesada, ni mucho menos para generar las estadísticas y gráficas a partir de ellos; por tanto, es relevante e indispensable que en un corto plazo se desarrolle e implemente un sistema para el procesamiento de los registros obtenidos por la RAMM de lo contrario con el tiempo representará una tarea sustancialmente difícil de manejar.

3. Especificaciones de los CDMS

Las guías de la OMM tienen como objeto orientar en la administración, resguardo y control de calidad de los datos recabados; de entre los diez principios de vigilancia del clima destaca lo relativo a la gestión de la calidad y homogeneidad de los datos que deben evaluarse periódicamente y asimismo sobre el empleo de los sistemas de gestión de datos que facilitan la consulta, el uso y la interpretación de datos y productos que constituyen los elementos esenciales de los sistemas de vigilancia del clima [2].

La guía OMM-N° 100 define un CDMS como un sistema informatizado integrado que facilita el archivo, gestión, análisis, suministro y aprovechamiento eficaces de una amplia gama de datos climáticos integrados. Un CDMS está conformado [4] por los siguientes componentes (Fig. 1):

1. Series temporales de datos climáticos; se refiere a la capacidad de gestionar las variables relevantes con la observación del clima, por ejemplo, para la atmósfera son: temperatura y humedad del aire, velocidad y dirección del viento, etc.; incluye también los metadatos climáticos que describen las condiciones en que se dieron las observaciones y cómo se han gestionado los datos.
2. Gobernanza de los CDMS; son un conjunto coherente de políticas y procesos de gestión que aportan una base sólida para el establecimiento y el tratamiento de fuentes autorizadas de datos climáticos y servicios conexos.
3. Gestión de datos; actividades de introducción, extracción y rescate de datos por medio de la digitalización o la captura directa; el control de calidad define los métodos a utilizar como la verificación heurística, estadística o espacial; respecto al



Fig. 1. Componentes principales un CDMS [2].

aseguramiento de la calidad, indica los procesos, algoritmos y los mecanismos usados.

4. Suministro de datos; funcionalidad requerida para la entrega de datos climáticos en los formatos solicitados; incluye además los conceptos de descubrimiento de datos y metadatos climáticos.
5. Análisis de datos; procesos utilizados para el análisis de los datos, los algoritmos usados para la generación de datos derivados de las observaciones, por ejemplo, imágenes ráster para representar la distribución espacial de la temperatura; también se indicarán los mecanismos de procesamiento y análisis de datos y metadatos necesarios para desarrollar series temporales homogéneas de alta calidad.
6. Presentación de los datos; funcionalidades para visualizar los datos climáticos, puede referirse a la tecnología, SW o procesos empleados; por ejemplo, presentación en formatos tabulares, rosa de los vientos, fotografías o imágenes; la funcionalidad de descarga de datos provee un mecanismo de entrega de la información a los interesados.
7. Infraestructura de tecnología de la información, representa las funcionalidades necesarias para soportar y mantener un CDMS; definiéndose en este componente los sistemas de gestión de bases de datos adecuados.

3.1. Control de calidad de los datos

El control de calidad (CC) consiste en verificar si los valores obtenidos son representativos de la medición, los datos no se considerarán aptos para su uso o almacenamiento hasta que no hayan sido validados con cierto nivel de calidad [2] y precisamente un CDMS facilita estas tareas.

Los principios generales de calidad plantean principalmente que estos procesos que pueden realizarse de forma manual, automatizarse total o parcialmente, deben abarcar todo el ciclo de vida de los datos climáticos (desde la instalación de la EMA hasta el archivo final) conservando además las observaciones originales, recabando información de las fuentes de error y documentando exhaustivamente los métodos y prácticas empleadas.

Los pasos para el aseguramiento de la calidad [5] se describen a continuación:

1. Observación. Incluye los aspectos relativos al emplazamiento, instalación, captura de los datos, operación y mantenimiento de la EMA y los metadatos relacionados;

también se recomienda registrar los errores detectados y las medidas tomadas para resolverlos.

2. Entrega y captación de datos. Comprende la supervisión de la transmisión de los datos desde la EMA hasta su recepción en el CDMS.
3. Gestión de la BD climática. Se ocupa de la aplicación diferida del CC mediante las verificaciones manuales, automáticas o semiautomáticas, se recomienda el uso indicadores de calidad para informar si los datos han sido procesados, si se considera valioso, sospechoso, dudoso, erróneo, si ha sido modificado o estimado.
4. Archivo final. Lo relativo al resguardo final de la BD del CDMS, los datos archivados se acompañarán del registro de auditoría, el registro del CC aplicado y la documentación asociada.
5. Recuperación en caso de desastre. Describe lo referente al uso de copias de seguridad y almacenamiento adecuado para su aprovechamiento a perpetuidad.

3.2. Homogeneización de los datos

El objetivo es que los datos sean homogéneos, esto es, que sean uniformes o de “la misma naturaleza”. Por causas ajenas al clima, la mayoría de los datos climáticos no son homogéneos [6], por ello se recomienda su verificación antes de realizar cualquier cálculo o generar cualquier producto climático.

Están disponibles dos métodos principales de homogeneización, 1) el método estadístico es usado cuando el comportamiento de una estación es claramente distinto a estaciones vecinas y 2) el método físico, cuando los ajustes se estiman mediante una relación física entre variables distintas, aunque requiere de datos más exactos y en ocasiones de observaciones con instrumentos que no se tienen en todos los emplazamientos.

4. El proceso de Software personal o PSP

En 1991 el Instituto de Ingeniería de Software de la Universidad Carnegie Mellon publica la primera versión del Capability Maturity Model for Software (Software CMM) que es un marco de madurez de procesos de SW orientado a las organizaciones [7]. Después de dirigir el desarrollo inicial de CMM, Watts S. Humphrey utiliza esos mismos principios en su propio trabajo en programas de tamaño de un módulo aplicando CMM hasta el nivel 5.

En 1994 Humphrey publica un manuscrito orientado a la enseñanza de estudiantes de ingeniería sobre el Proceso Personal de Software o PSP (Personal Software Process); este se enfoca en las prácticas de trabajo de los ingenieros individuales para ayudarlos a utilizar prácticas de ingeniería sólidas [8].

4.1. Definición de PSP

De acuerdo con Humphrey [9], el PSP, es un proceso de auto mejora que ayuda a controlar, administrar, y mejorar la forma de trabajar. Es un marco estructurado de formularios, directrices y procedimientos para el desarrollo de software.

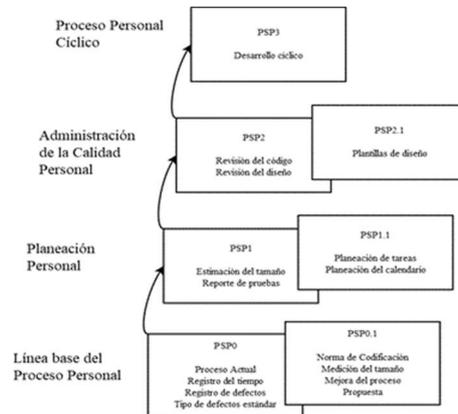


Fig. 2. Evolución de PSP, adaptado de [11].

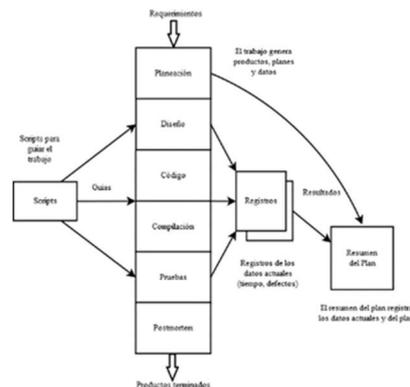


Fig. 3. Flujo del proceso PSP, adaptado de [11].

La estrategia del PSP consiste en motivar a cada ingeniero que adopte métodos eficaces; puesto que cada ingeniero es diferente, cada uno debe planificar su trabajo basándose en sus datos personales; utilizando procesos bien definidos y medidos, haciéndose responsables de la calidad de sus productos; además, es necesario detectar y corregir los defectos en etapas tempranas.

La medición del tiempo invertido en los productos de SW ayuda a conocer su rendimiento y posteriormente, utilizando los datos recabados, mejorar sus procesos personales [8]. Un proceso personal proporciona a los individuos un marco para mejorar su labor y para realizar de forma consistente trabajo de alta calidad [10].

4.2. Las fases del proceso PSP

Un proceso de SW establece el marco técnico de gestión para aplicar métodos, herramientas y personas a las tareas de SW. La definición del proceso identifica roles, especifica tareas, establece medidas y provee criterios de entrada y salida para los pasos principales [5]. La estructura de un proceso PSP (Fig. 3), tiene tres fases [10]:

1. Planeación: produce el plan del trabajo, un formulario de planeación es la guía para elaborar y documentar el plan y, provee un formato coherente para los resultados.
2. Desarrollo: se realiza el trabajo mediante: a) la definición de requerimientos, b) diseño del programa, c) revisión del diseño y corregir defectos, d) codificación, e) revisión del código y corrección de errores, f) construir o compilar y corregir los errores y, g) pruebas y corrección de los errores.
3. Post mortem: se realiza una comparación del desempeño actual contra el plan, se registran los datos del proceso, se realiza un reporte y se documentan todas las ideas para mejorar los procesos.

PSP contiene cuatro elementos básicos: 1) scripts o secuencia de comandos que guían la ejecución de un proceso personal, 2) formularios para especificar y guardar los datos necesarios, 3) métricas para proveer información cuantitativa sobre el proceso y el producto analizándolos con la intención de mejorarlos y supervisar el cumplimiento de las metas y, 4) estándares o normas precisas para guiar el trabajo, recopilación y uso de datos para permitir la aplicación coherente de las métricas.

4.3. La Evolución del PSP

El PSP tiene un marco de madurez similar al de CMM (Fig. 2) y cada fase se describe en seguida:

PSP0 - Proceso de referencia. Proporciona un marco de referencia para trabajar con el primer programa y recopilar datos sobre el rendimiento del ingeniero, conocido como línea base y es necesaria para determinar el impacto del PSP en su trabajo. PSP0.1 es la mejora del PS0 al cuál se le añade un estándar de codificación, la medición de tamaño y la propuesta de mejora del proceso. El objetivo del PS0.1 es que se comprendan los principios de tamaño y se desarrollen los ejercicios 2 y 3 que usarán como herramientas de medición en el resto del PSP [11].

PSP1 - Planeación del proceso personal. El PSP1 añade la planeación; la estimación del tamaño y de los recursos además de un informe de pruebas. PSP1.1 agrega la planeación del calendario y el seguimiento del estado. Los objetivos del PSP1 y PSP1.1 son: que se aprecie la relación entre el tamaño de los programas y el tiempo empleado en su desarrollo, que se planteen metas alcanzables, contar con un plan y una manera de determinar su estado [11].

PSP2 – Gestión personal de la calidad. Su objetivo es mejorar la productividad para producir programas de alta calidad mostrando cómo usar los datos recabados de los defectos para reducirlos en los pasos de compilación y pruebas. PSP2 agrega las revisiones personales del diseño y del código que permiten encontrar los defectos antes de procesarlos. PSP2.1 aborda los criterios que debe contener el diseño al estar concluido e ilustra varias técnicas para su verificación; el mismo enfoque puede utilizarse en otros pasos como la especificación de requisitos, la documentación y las pruebas [11].

PSP3 - Proceso personal cíclico. Hasta el PSP2 se lleva a cabo la construcción de pequeños programas, para enfrentar el desarrollo de programas grandes se subdivide en programas más pequeños (del tamaño de PSP2) y se integran al programa más grande. PSP3 es un proceso cíclico que sigue los principios del modelo de espiral de Boehm,

cada iteración incluye diseño, código, compilación y pruebas (unitarias y de integración). PSP3 es adecuado para programas de hasta varios miles de líneas de código y su objetivo es introducir los principios del proceso de escalado de procesos; asegurando la calidad de cada ciclo de desarrollo es posible concentrarse en verificar el rendimiento del último incremento sin interferencia de defectos anteriores [11].

Estimación con PROBE, recolección de datos y calidad del producto. PROBE son las siglas de PROxy Based Estimating (estimación basada en proxies) que utiliza proxies u objetos para estimar el tamaño probable de un producto. Comienza por calcular los objetos necesarios para construir lo que se plasmó en el diseño; se basa en datos históricos de objetos similares de al menos tres programas anteriores y emplea regresión lineal para determinar el tamaño probable del producto final.

En PSP se registran los tiempos consumidos en cada fase del proceso y el tamaño de los productos expresado en líneas de código o LOC.

Al final del trabajo se realiza el análisis post mortem actualizando el Resumen del Plan del Proyecto con los datos reales, se calculan los datos de calidad y de rendimiento contrastando el desempeño actual con lo planeado y calendarizado.

Como parte de la evaluación de la calidad de los productos, se recolectan datos de los defectos inyectados en cada fase y se lleva un registro de la cantidad de defectos encontrados, solucionados y el tiempo invertido en solventarlos [8].

5. Solución propuesta

Esta problemática ya se ha abordado anteriormente desde distintos enfoques, por ejemplo, la Comisión Nacional del Agua en México desarrolló MCH [16] que por ser un sistema provisto por la OMM cubre las necesidades de gestión de datos climáticos de los SHMN miembros de la organización, pero no está disponible al público en general.

Por otro lado, Flores-Román presentó la guía para la implementación de sistemas de medición de contaminantes atmosféricos [17] en combinación con estaciones meteorológicas, sin abordar el desarrollo del SW resalta la importancia de la verificación y control de calidad de los datos y el resguardo de la información procesada.

Por su parte la herramienta hidro-informática de Salgado-Álvarez [18] detalla distintos métodos para el aseguramiento de la calidad de datos climáticos antes de su aprovechamiento, aunque no considera el almacenamiento de la información procesada. En cambio, Guerrero-Higeras propone en su Modelo M3 [19] el procesamiento de información de distintas fuentes considerando también el factor tiempo, permitiendo el seguimiento en tiempo real de fenómenos meteorológicos; no obstante, el control de la calidad de los datos no forma parte de los elementos que lo conforman.

Ahora bien, en este documento se formula el diseño de un CDMS (Fig. 4) que será el apoyo para la administración de la RAMM. Esta solución propone la construcción de un sistema web con una arquitectura de microservicios aprovechando sus ventajas como el desarrollo de sistemas distribuidos, la escalabilidad y su enfoque para modularizar el sistema permitiendo, de ser necesario, el uso de distintos lenguajes de

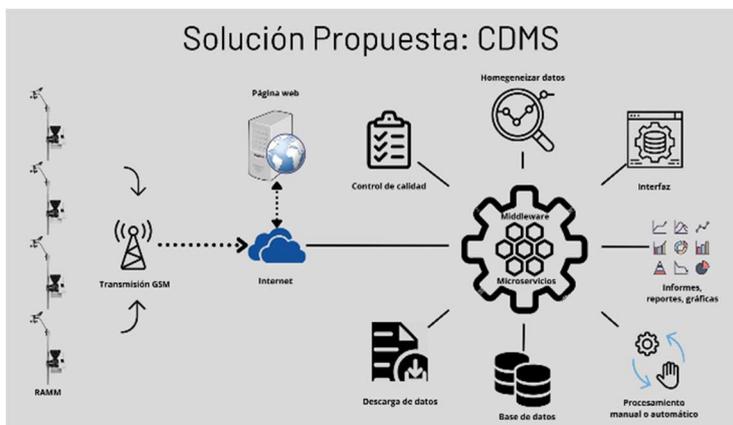


Fig. 4. Componentes de la propuesta de solución.

programación o tecnologías como sistemas middleware para realizar tareas recurrentes ya sea manuales o automáticas como la verificación de calidad o la homogeneización de los datos.

El CDMS deberá incluir los componentes señalados en [4] como *requeridos* excepto los obligatorios para miembros de la OMM ya que el DIAU no es miembro de esta organización.

Sobre el componente de Gobernanza al tratarse de normas o políticas de uso del sistema, tampoco se considera dentro del alcance de la realización del sistema; en cuanto al componente de infraestructura de TI, únicamente se considerará lo relativo a la gestión de la base de datos y su seguridad.

Bajo estas premisas, el CDMS respaldará las actividades de adquisición, validación y almacenamiento de la información recopilada y procesada, además, contará con herramientas para realizar cálculos climáticos y proveerá los mecanismos para la extracción, uso y aprovechamiento de los datos climáticos.

Asimismo, se recurre al marco de trabajo PSP que análogamente insta a dividir el desarrollo de un sistema grande en pequeños programas o módulos y al tiempo que se avanza en el desarrollo se recopilan los datos necesarios permitiendo al ingeniero de software potenciar su desempeño e incrementar la calidad de sus productos de SW.

6. Conclusiones

En este trabajo se han presentado las bases para la implementación y desarrollo de un Sistema de Gestión de Datos Climáticos para una red de estaciones meteorológicas automáticas según los estándares de la OMM.

Nuestra propuesta incluye la administración de las estaciones y los metadatos relacionados con la operación de la red, la verificación automática de calidad a los datos conforme se recibe de las estaciones y también a petición del usuario para los datos históricos, al menos una herramienta para la homogeneización de los datos y los mecanismos para abastecer al usuario con la información debidamente verificada por medio de una variedad de resúmenes y reportes gráficos y tabulares.

6.1. Trabajo futuro

El sistema descrito será realizado como parte del trabajo de maestría del primer autor, para lo cual se hará uso de Process Dashboard [12], una herramienta que facilita la adopción y el aprendizaje de PSP, que permite enfocarse en la realización del proyecto, en el análisis de productividad y calidad requeridos por PSP, incluye también los formularios, scripts [13] y de igual forma apoya en la realización de cálculo de las métricas arrojando los correspondientes reportes de productividad; un manual de la aplicación se puede consultar en línea en [14, 15].

En último término se deja la elección de la tecnología para el desarrollo del lado del servidor (backend) y del lado del cliente (frontend); en ambos casos deberán ser compatibles con la arquitectura propuesta. Para el backend, de entre las opciones está Node.js o un conjunto de lenguajes actualmente usados: PHP, .Net, Python, Java o en su defecto un framework como Flask o SpringBoot. Para el frontend se cuenta con el lenguaje Javascript o un framework basado en este: Angular, Vue o inclusive la librería React.

Antes de comenzar con el desarrollo será necesario llevar a cabo la elicitación de requerimientos, su análisis y realizar un diseño general del CDMS; a partir de los cuáles se determinará el tamaño de cada módulo usando cada uno para escalar por las distintas fases de PSP. Al concluir el desarrollo del CDMS, se implementará y se hará una prueba de concepto para demostrar su utilidad con al menos un conjunto de datos de una estación de la RAMM.

Finalmente, se exhibirán los resultados obtenidos de Process Dashboard sobre el análisis de productividad para valorar las mejoras en el desempeño del desarrollador y concretar de que manera y cuanto evolucionó durante la ejecución del sistema descrito en el presente documento.

Referencias

1. INECC: ¿Qué es el clima? Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático (2018) www.gob.mx/inecc/acciones-y-programas/que-es-el-clima
2. Organización Meteorológica Mundial: Guía de prácticas climatológicas (OMM-N° 100), OMM, Ginebra (2018)
3. Barrell, S., Riishojgaard, L. P., Dibbe, J.: El sistema mundial de observación. Boletín, vol. 62, no. 1, pp. 9–16 (2013)
4. World Meteorological Organization: Climate data management system specifications. version 1.0, Ginebra, no. 1131 (2014)
5. Organización Meteorológica Mundial.: Directrices para el control de la calidad y el aseguramiento de la calidad de los datos de estaciones de observación en superficie para aplicaciones climáticas. Ginebra, no. 1269 (2021)
6. Organización Meteorológica Mundial: Directrices sobre homogeneización. Ginebra, n° 1245 (2022)
7. Paulk, M.: A history of the capability maturity model® for software. ASQ Software Quality Professional, vol. 12, no. 1 (2001)
8. Humphrey, W. S.: The personal software process (PSP). Software Engineering Institute (2018) doi: 10.1184/R1/6585197.V1
9. Humphrey, W. S.: PSP: Self-improvement process for software engineers. Addison-Wesley, New Jersey (2005)

10. Software Engineering Institute: The personal software process (PSP) body of knowledge. Version 2.0, Software Engineering Institute (2009)
11. Humphrey, W. S.: Introducing the personal software process. *Annals of Software Engineering*, vol. 1, no. 1, pp. 311–325 (1995) doi: 10.1184/R1/6585197.v1
12. Tuma Solutions: Process dashboard users manual (2022) www.processdash.com/sites/processdash.com/static/help/book.html
13. Software Engineering Institute: Personal software process (PSP) for engineers. Version 4, Course Materials (2018)
14. Tuma Solutions.: PSP Dashboard 2.6 (2022) www.processdash.com/
15. World Meteorological Organization (2022) community.wmo.int/mch-meteorology-climatology-and-hydrology-database-management-system
16. Flores-Román, D.: Guía de implementación de sistemas de medición de contaminantes atmosféricos. Tesis de maestría, Fundación Arturo Rosenblueth, Ciudad de México (2021)
17. Salgado-Álvarez, N.: Diseño de una herramienta hidro-informática para el análisis de calidad de datos de estaciones meteorológicas automatizadas. Tesis de licenciatura, Universidad Autónoma del Estado de México, Estado de México (2018)
18. Guerrero-Higueras, Á.: Modelo de gestión de información meteorológica (M3) para calibración y validación de algoritmos, detección de riesgos meteorológicos y otras aplicaciones. Universidad de León, Castilla, España (2017)