

# LAS HERRAMIENTAS COMPUTACIONALES COMO FACTOR DE ERROR EN LOS PROCESOS DE DISEÑO DE INFRAESTRUCTURA CIVIL

Héctor A. Monroy<sup>1</sup>

Resumen: El uso inadecuado de programas de computadora y de procedimientos que se relacionan directamente con la utilización de herramientas computacionales pueden causar errores en proyectos de diseño de infraestructura civil. Algunas veces estos errores son directamente atribuibles a los usuarios: mala planificación de los recursos computacionales, datos entrados inadecuadamente a los programas de computadora o mala interpretación de los resultados. En otros casos los errores tienen que ver con las herramientas computacionales mismas: errores de programación del software, implantaciones de algoritmos sobre la tecnología incorrecta o pueden surgir de la combinación de los factores anteriores. En algunos casos la aparente simplicidad de un proceso hace que no se le preste atención al control de calidad y en otros casos la complejidad del proceso imposibilita medir correctamente la magnitud del mismo y la relevancia dentro de todo el diseño.

## COMPUTATIONAL TOOLS AS A SOURCE OF ERRORS IN THE DESIGN PROCESS OF CIVIL INFRASTRUCTURE SYSTEMS

Abstract: The erroneous use of computer programs and procedures that are directly related to computational tools can lead to design errors in infrastructure projects. Sometimes the users are directly responsible for these errors, e.g. due to bad planning of the computational resources, wrong data entry, or incorrect interpretation of the results. In other cases, the errors arise as a consequence of the computational tools themselves, such as programming errors in the software, implementation of algorithms on the incorrect technology or they can be caused by a combination of both. In some cases the apparent simplicity of a process brings about to pay little attention to quality control. In other cases the complexity of the processes does allow one to measure correctly the magnitude of the error and its relevance within the entire design.

### INTRODUCCIÓN

En la actualidad es frecuente encontrar en las computadoras de escritorio de los diseñadores de proyectos de infraestructura civil herramientas que los asisten en el diseño. Casi sin excepción todos los procesos de diseño involucran computadoras. Los clientes de las compañías consultoras exigen a sus consultores que todo plano que se entregue en papel también incluya una copia digital, lo que fuerza a la utilización de herramientas computacionales para el dibujo. Según una encuesta el (Anónimo 2002), 99% de las compañías consultoras de ingeniería y arquitectura usan alguna herramienta de diseño asistido por computador (CAD, por sus siglas en inglés).

El acceso a información geográfica y de infraestructura en formato digital, como por ejemplo imágenes de satélite, fotografías aéreas y catastro es cada vez más simple. Los gobiernos como el de Estados Unidos han concentrado mucha de esta información en portales en Internet ([www.geodata.gov](http://www.geodata.gov)) y compañías privadas como SpaceImage venden en Internet imágenes de satélite de casi todo en mundo hasta con un metro de resolución por píxel. Por ejemplo, el gobierno de Puerto Rico licenció con SpaceImage imágenes de satélite ortoreferenciadas de toda la isla para uso interno y de los consultores del gobierno.

La computación móvil a través de tecnologías como los organizadores personales digitales (PDA, por sus siglas en inglés) posibilitan la recolección y análisis de datos tomados in situ, en tiempo real y facilitan la interoperabilidad con otras tecnologías como los sistemas de posicionamiento global (GPS, por sus siglas en inglés).

Programas altamente especializados como los de diseño estructural, análisis de hidrología e hidráulica, diseño de carreteras, por citar sólo algunos tipos, presentan como característica la posibilidad de compartir información entre sí. En términos generales la tendencia es poder compartir información electrónica independientemente de la tecnología computacional que se esté utilizando.

---

<sup>1</sup> MS en Ingeniería Civil, MS en ingeniería de Sistemas y Computación. Director del Departamento de Sistemas de Información Geográfica y Gerente de Proyectos CSA Group Inc., San Juan, Puerto Rico, [hamonroy@csagroup.com](mailto:hamonroy@csagroup.com)

La infraestructura de redes locales de computadoras para compartir esta información ya está disponible en las oficinas de diseño. Según la misma encuesta (Anónimo 2002) el 100% de las compañías consultoras tiene algún tipo de red de computación.

Hechos como los anteriores hacen que resulte relevante prestar especial atención a la relación entre el diseñador y las herramientas computacionales, ya que el uso inadecuado de estas herramientas puede ser un factor de error difícilmente cuantificable en los procesos de diseño y es uno de los aspectos fundamentales para lograr un diseño exitoso.

## PROCESOS NO CONTROLADOS

Para que un diseñador pueda hacer un buen trabajo debe estar en total control de las herramientas que utiliza. En el caso de las herramientas computacionales esto no significa que tenga que ser un experto en computación, pero sí debe estar perfectamente enterado de las fortalezas y debilidades de estas herramientas de tal manera que pueda saber como usarlas y hasta donde exigirles. Generalmente los manuales de referencia de los programas contienen la información necesaria para esto.

Resulta trivial entender que cuando entran datos incorrectos a un proceso, los datos que salen son incorrectos. Sin embargo, no es trivial la aseveración de que a todo proceso en donde los datos que entran son correctos, los datos que salen son correctos, ya que en este caso también se debe validar si el proceso mismo es correcto.

En algunos problemas de ingeniería (desde toma de datos topográficos hasta modelamiento por elementos finitos) la cantidad de información es significativamente grande o los órdenes de magnitud son tales que no es suficiente el sentido común para evaluar la calidad de los datos de entrada y salida.

Las computadoras sólo hacen lo que los programadores las han programado a hacer. Sin embargo frecuentemente se da por sentado que los procesos que han sido computadorizados están correctos. Por ejemplo, en las versiones tempranas de AutoCAD 2000 se presentaba un error de cálculo en el momento de medir áreas. Aunque el error fue ampliamente documentado y AutoDesk, la compañía que desarrolla AutoCAD, corrigió rápidamente el problema, con seguridad, muchos cálculos de áreas tuvieron errores.

Aun partiendo de la premisa de que el programador de un algoritmo que intenta solucionar un problema entiende el problema y en términos generales sabe como solucionarlo no necesariamente las presunciones que hacer son de validez universal. Esto se hace evidente en análisis complejos como por ejemplo los análisis por elementos finitos en los que se procesa gran cantidad de información numérica y los programadores deben hacer simplificaciones que disminuyan tiempos de cómputo o resuelvan problemas de singularidad (Cook, Malkus y Plesha 1989).

Otro ejemplo ampliamente conocido es el fracaso del proyecto Observador Climático de Marte de la NASA en septiembre de 1999 en donde Lockheed Martin, empresa constructora de una sonda que se envió a Marte, utilizó el sistema inglés de medidas y el Laboratorio de Propulsión a Chorro (JPL, por sus siglas en inglés), quien guiaba la sonda, usó el sistema imperial de medidas. Este es un caso clásico de programadores usuarios que entienden que sus presunciones son de validez universal. La sonda terminó desintegrada en la atmósfera marciana cuando su objetivo era el de orbitar a Marte.

Los usuarios de herramientas computacionales deben estar en capacidad de modificar un procedimiento de diseño ya aprendido o crear uno nuevo para podersele incorporar una herramienta computacional que lo haga más efectivo. Para lograr esto no sólo se debe entender cómo se hace el diseño, sino cómo se conceptualiza la solución en una computadora.

## EDUCACIÓN EN HERRAMIENTAS COMPUTACIONALES

Entre los ingenieros y arquitectos, la falta de educación formal en el uso de herramientas computacionales en los procesos de diseño hace que frecuentemente estas herramientas pasen de ser una ventaja tecnológica a un obstáculo difícil de salvar y controlar. Esta falta de educación formal no sólo es un problema dentro del ámbito de los técnicos que usan directamente las herramientas, también lo es a nivel de gerentes y directores de disciplinas.

No siempre las universidades enseñan herramientas computacionales que resulten de fácil acceso y de uso frecuente en las compañías de ingeniería. Las aplicaciones como procesadores de palabras y hojas electrónicas generalmente se enseñan en cursos iniciales, pero las aplicaciones de CAD, ingeniería asistida por computador (CAE, por sus siglas en inglés), de sistemas de información geográfica (GIS, por sus siglas en inglés) y lenguajes de programación se ven de forma superficial o no se incluyen en la curricula.

El 99% de las compañías consultoras de ingeniería y arquitectura usan alguna herramienta de CAD (Anónimo 2002). Casi cualquier ingeniero o arquitecto tiene en su computadora de escritorio una herramienta de CAD, generalmente AutoCAD o MicroStation, pero a no ser que hayan sido educados para usarla como una herramienta de diseño, típicamente la usan como una herramienta de dibujo. Usar un sistema de CAD como una herramienta de diseño implica darle semántica a los objetos que se “dibujan” y entender que estos objetos dibujados no sólo servirán para ser impresos en un plano sino para otros procesos.

Análisis relativamente simples, como contar el número de elementos que hay en un dibujo de CAD para calcular cantidades de obras, pueden generar errores que no se detectan a simple vista. Por ejemplo es común que cuando se está haciendo la configuración de un sistema sanitario se usen dibujos predefinidos (bloques) que representan válvulas, tanques, tuberías, codos, etc. Muchas veces estos bloques se copian en el dibujo para ser usados posteriormente. Sin embargo, en el momento de terminar el dibujo no se borran estas copias, por lo que al hacer conteos automáticos estos elementos aparecen como parte de los elementos que se cuentan dando como resultado un error en las cantidades.

La organización de la información en los sistemas de CAD puede verse como un asunto de dibujo que no va más allá del respeto a unos estándares de dibujo que garantizan la consistencia a la hora de imprimir o como un asunto de diseño en donde lo relevante está en garantizar la interoperabilidad entre diferentes softwares utilizando la información de CAD como la base. En este caso la calidad de los dibujos es consecuencia directa de la calidad de los diseños. Por ejemplo, hay arquitectos que usan los modelos de elevación de terreno hechos por agrimensores e ingenieros estructurales que usan los datos de arquitectura para calcular las estructuras.

Casi todas las oficinas utilizan la plataforma Windows por lo cual los lenguajes de programación de mayor accesibilidad y uso sobre aplicaciones que van desde procesadores de palabras hasta herramientas de CAD son Visual Basic y Java. Sin embargo frecuentemente los ingenieros quedan con las manos atadas al intentar implementar soluciones computacionales pues han aprendido Fortran o C++, lenguajes de programación de muy alto poder computacional, pero que no son de uso frecuente en compañías de ingeniería civil, mecánica o ambiental y que por lo general no están disponibles en las oficinas de diseño.

En algunos proyectos de ingeniería se utilizan bases de datos que contienen la información oficial del gobierno sobre la infraestructura de una región, las zonas protegidas ambientalmente, los usos que se entienden tienen los terrenos o como podrían ser utilizados, los dueños de los terrenos, entre otros tantos temas más. Los sistemas capaces de manejar este tipo de información espacial se llaman GIS y son típicamente, en los grandes proyectos, la tecnología que combina esta información con la información de diseño que se produce con el software de CAD/CAE. Esta combinación de información sirve para hacer los análisis que definirán el impacto ambiental de un proyecto y en las fases tempranas del proyecto permitirán conceptualizarlo y medir su viabilidad.

No toda la información que se encuentra en estas bases de datos tiene la misma precisión, por lo que si no se tiene el suficiente criterio se puede incurrir en graves errores al momento de tomar decisiones basadas en este tipo de análisis.

En GIS los datos espacialmente son representados por puntos, polígonos abiertos (sin área) o polígonos cerrados (con área). Si por ejemplo un hallazgo arqueológico se representa en un GIS por un punto a lo sumo se le podrá definir una probable área de influencia alrededor del punto que en ningún momento podrá ser entendida como el área exacta del hallazgo. Así que el criterio arqueológico tan sólo podrá ser cuantificado como la cantidad de posibles hallazgos arqueológicos basados en un área probable de influencia, que en muchos casos se maneja de forma genérica y no como el área total de hallazgos arqueológicos que se impacta.

Los GIS también son usados para la solución de problemas de red como puede ser un problema de hidráulica hidrológico o la conexión en un sistema de transporte vial. En este caso resulta relevante que los datos que representan los diferentes tramos y objetos de la red y la conexión que existe entre ellos esté correctamente representada al nivel de la base de datos. Típicamente a esto se le llama correctitud topológica.

El desconocimiento de conceptos elementales de topología hace que se incurran en errores, como por ejemplo que durante el proceso de dibujo de la red un usuario grafique el extremo de una línea muy próxima al extremo de otra creyendo que con esto el sistema entiende que están conectadas. Esta desconexión en la red puede pasar desapercibida en una red con muchas conexiones a no ser que se utilicen las herramientas computacionales adecuadas y puede dar resultados incorrectos ya que el modelo que está en el sistema es diferente al que se quería tener.

En términos generales es importante que los diseñadores que usen herramientas computacionales tengan educación formal en su uso, de tal manera que estén en capacidad de tener criterio sobre ellas.

El desconocimiento de la tecnología dentro del grupo de gerentes y directores de disciplinas puede hacer que se tenga una falsa percepción del avance de un proyecto, que no se esté en condiciones de evaluar calidad, que no se pueda cuantificar el esfuerzo hecho en una tarea o proyecto o que no se esté en condiciones de opinar, desarrollar o evaluar los planes estratégicos que competen a tecnología y herramientas computacionales dentro de una oficina de diseño.

En la época anterior al CAD/CAE todo diseño estaba desde sus inicios en papel. Esta condición hacía que resultara relativamente fácil, para un gerente o director de disciplina, ver el avance de un proyecto al ver la evolución de las memorias de cálculo y los planos. Sin embargo, en la actualidad no es fácil ver a través de las pantallas de computadora de los diseñadores y delineantes ya que generalmente éstas sólo presentan parcialmente el dibujo y los cálculos, con información de más o de menos y en un formato que generalmente no es el mismo en el que se imprimirá.

Según una encuesta realizada entre el 2000 y el 2002 por el Instituto de Americano de Arquitectos (AIA, por sus siglas en inglés), las firmas que forman parte de esa organización invirtieron \$2611 dólares americanos en promedio en tecnología por persona durante un año. La encuesta también encontró que las firmas más avanzadas tecnológicamente invirtieron un 15 por ciento más, pero en promedio el valor de sus contratos era de un 72 por ciento superior (AIA 2002).

## EL MANEJO DE LA INFORMACIÓN

En los proyectos de diseño de infraestructura se invierte tiempo para planificar los procesos del diseño, pero en algunos casos no se planifica adecuadamente cómo se organizará la información desde el punto de vista computacional.

En la solución de un problema el desconocimiento del tipo de información disponible, sus características y cómo se relacionan los datos entre sí hace que resulte difícil o imposible saber a priori qué clase de preguntas se pueden responder a partir de los datos disponibles.

Por lo general los problemas de información son detectados en fases muy avanzadas de los proyectos y no siempre es posible modificar la estructura de la información para remediar la situación. En otros casos, los peores, los problemas de información nunca son detectados y las decisiones que se toman a partir de premisas incorrectas resultan en errores de diseño. Por ejemplo, si se está haciendo un estudio de origen y destino en donde se deben conocer los datos de población de dos pueblos no es suficiente con saber que hay datos de regiones, pueblos y población. En la Figura 1 se muestra dos modelos de datos, basados en la metodología entidad/relación, de los cuales sólo uno puede responder la pregunta.



Figura 1: Dos modelos de datos para un ejemplo de estudio de origen y destino.

El modelo de datos (A) agrupa la información del censo por región, entendiéndose por ello un conjunto de pueblos por lo cual, aunque hay información de población, no es posible saber cuánta población tiene exactamente un pueblo. Las relaciones en este caso se leen: una región tiene cero o N pueblos y todo pueblo pertenece a una única región. Toda región tiene una o ninguna información sobre el censo y toda información sobre el censo hace referencia a ninguna o una región en específico. Siguiendo con el ejemplo, en ambos casos es posible saber la población que hay en una región. En el modelo (A) la respuesta es inmediata pero en el modelo (B) la respuesta se consigue mediante sumar las poblaciones que hay en todos los pueblos de una región específica.

Recientemente la solución de problemas usando computadoras fallaba por la falta de información disponible o por la incapacidad de procesar grandes volúmenes de información por parte de las computadoras, pero en la actualidad se está viviendo el fenómeno exactamente inverso; la posibilidad de almacenar grandes volúmenes de información en las computadoras está relajando el control que tenemos de ésta. Errores de este tipo resultan difíciles de detectar por usuarios no expertos o que utilizan resultados de software que no dominan.

Esta situación puede ser común, ya que en la actualidad la gran mayoría del software de diseño (de carreteras, estructuras, hidráulica, entre otros) se apoya en el uso de bases de datos que permiten que la información se pueda compartir. De hecho, el mayor avance que han hecho los programas de CAD no está en la facilidad al dibujar sino en la capacidad que tiene de almacenar la información gráfica y no gráfica, tanto en los propios formatos de archivos de CAD como en formatos comerciales de bases de datos, lo que da la opción de compartir información con otro tipo programas.

El concepto de objetos inteligentes dentro de los sistemas de CAD, en donde un “objeto” dentro del dibujo no sólo tiene propiedades de forma sino también atributos no espaciales (como por ejemplo su costo, nombre del fabricante, peso, etc.) y propiedades que incluso pueden alterar la de los objetos vecinos. Por ejemplo, se requiere que al dibujar una ventana en una pared, la pared automáticamente cambie su forma para incorporar correctamente la ventana.

Muchas de las grandes compañías de desarrollo de software de diseño promocionan sus productos mostrando cómo son capaces de combinar tecnologías de GIS y CAD simultáneamente. Casi cualquier software de CAD/CAE/GIS puede apoyar formatos como el XML, que es el estándar actual de intercambio de información de mayor uso y desarrollo.

El Instituto de Especificaciones de la Construcción (SCI, por sus siglas en inglés) ha estandarizado la forma como se debe relacionar la información de diseño dentro de los dibujos en CAD con los documentos de las especificaciones de

diseño, de tal manera el CAD se convierta en una herramienta adicional para garantizar la coherencia entre los planos y las especificaciones de diseño (Anónimo 2002b).

Por ejemplo, consideremos el diseño de la ruta (de alrededor de un metro de ancho) de un cable soterrado de transmisión de energía eléctrica de 115kV, a la cual se le incorpora la información de las utilidades de acueducto y alcantarillado existentes en la zona del proyecto. Esta información que se encuentra en las bases de datos de GIS fue calculada manualmente a partir de planos en papel en escala 1:5,000. La precisión de la localización de las utilidades no es suficiente para garantizar si estas utilidades están quedando a la izquierda o derecha del diseño, independientemente de donde las muestre el software de diseño de CAD.

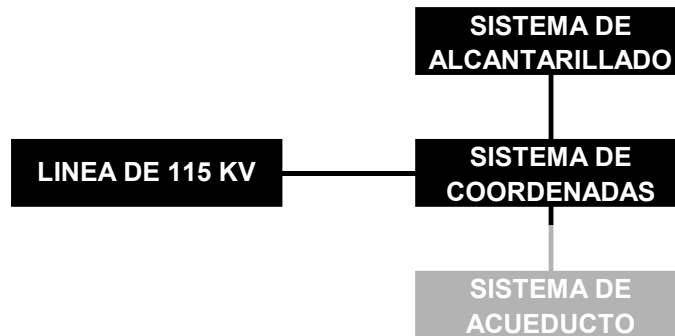
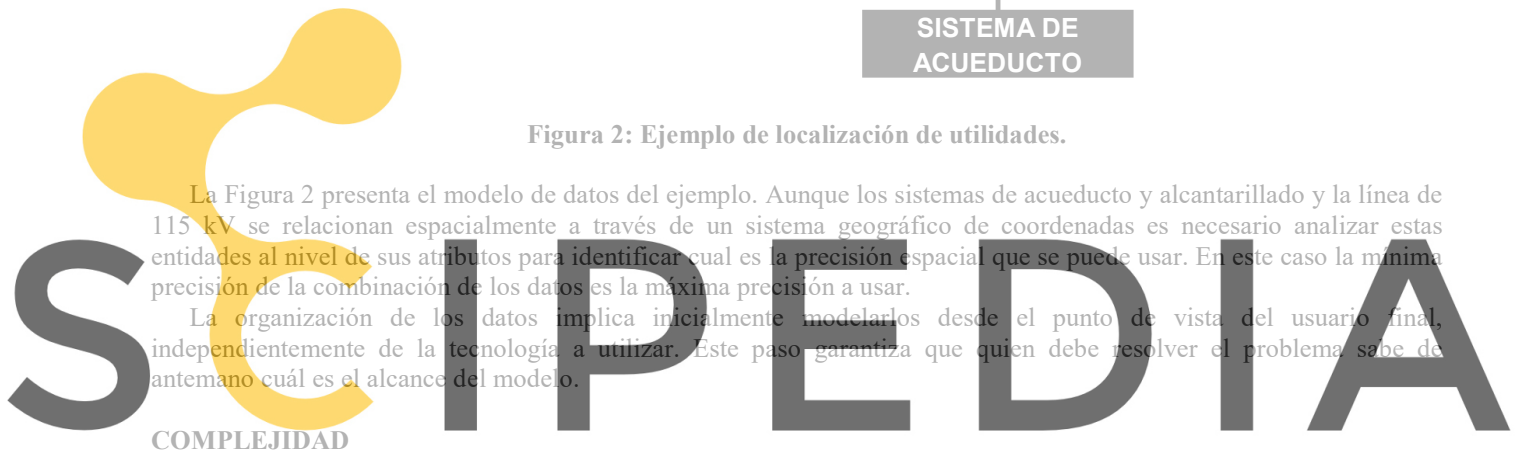


Figura 2: Ejemplo de localización de utilidades.

La Figura 2 presenta el modelo de datos del ejemplo. Aunque los sistemas de acueducto y alcantarillado y la línea de 115 kV se relacionan espacialmente a través de un sistema geográfico de coordenadas es necesario analizar estas entidades al nivel de sus atributos para identificar cual es la precisión espacial que se puede usar. En este caso la mínima precisión de la combinación de los datos es la máxima precisión a usar.

La organización de los datos implica inicialmente modelarlos desde el punto de vista del usuario final, independientemente de la tecnología a utilizar. Este paso garantiza que quien debe resolver el problema sabe de antemano cuál es el alcance del modelo.



Register for free at <https://www.scipedia.com> to download the version without the watermark

La herramienta es [www.scipedia.com](https://www.scipedia.com) para personas que necesitan ayuda y que quieren que el diseño de un proyecto termine siendo definida por la capacidad computacional de las herramientas que se usaran.

Uno de los parámetros de mayor relevancia para medir el tamaño de un proyecto de ingeniería de diseño es el número de horas hombre necesarias para realizarlo. Sin embargo, aunque típicamente se calculen los recursos de hardware y software necesarios por los individuos que harán el diseño, en muy contadas ocasiones se calcula la cantidad de información a usarse y la complejidad de los procesos que la usan.

En grandes proyectos de ingeniería la cantidad de información a usarse sobre herramientas de CAD/CAE/GIS puede ser tal que las computadoras y los sistemas de red pueden generar retrasos en el itinerario que no fueron considerados inicialmente y que aumentan significativamente el costo del proyecto o hacen que se tomen decisiones para reducir el tiempo de los procesos de computación que en ocasiones degradan la calidad de los resultados.

Cuando se diseña un algoritmo para solucionar un problema o cuando la cantidad de información electrónica puede llegar a ser significativamente grande, el cálculo del orden de complejidad de los procesos computacionales es relevante.

En el momento de la implantación de soluciones computacionales hay que tomar decisiones que garanticen la viabilidad de la solución entendiéndose con esto encontrar una respuesta aceptada como correcta en un tiempo y espacio razonable, lo cual implica que no todas las soluciones computacionales deben ser 100% exactas.

La complejidad de un algoritmo y por extensión de un problema se puede definir como la medida de los recursos computacionales que el algoritmo demanda para su ejecución (Bohórquez y Cardoso, 1999). Esta medida, aunque es abstracta depende en mucho de la computadora, y típicamente se hace en términos de tiempo de proceso (complejidad temporal) y/o espacio necesario de almacenamiento (complejidad espacial).

Para poder cuantificar la complejidad generalmente se definen las “operaciones básicas” que constituyen el núcleo que resuelve el problema. Por ejemplo, en un algoritmo para ordenar de menor a mayor una serie de números la operación básica, sería la comparación de dos números y en el algoritmo de la multiplicación de dos matrices reales las operaciones básicas serían la multiplicación y adición de dos números reales. En ambos ejemplos anteriores resulta evidente que a mayor cantidad de números, es mayor la cantidad de operaciones básicas.



Dependiendo del número de operaciones básicas  $n$  necesarias para solucionar un problema se puede definir una función de complejidad  $R_A$  para un problema. Aunque en la práctica resulta casi imposible establecer esta función de complejidad exacta para un problema, se puede calcular su tendencia general (complejidad asintótica)  $O$  así:

Constante	si $R_A = O(1)$
Logarítmica	si $R_A = O(\log n)$
Polilogarítmica	si existe una constante $k > 0$ , tal que $R_A = O(\log^k n)$
Lineal	si $R_A = O(n)$
Polinomial	si existe una constante $k > 0$ , tal que $R_A = O(n^k)$
Exponencial	si existe una constante $k > 0$ , tal que $R_A = O(2^{n^k})$

Aunque se podría pensar que sólo las soluciones exponenciales son intratables por su demanda de tiempo y espacio, en problemas de ingeniería, incluso algunos problemas de orden polinomial pueden resultar de difícil solución por la cantidad de datos disponibles o por la poca estructuración que tienen estos datos.

## CONTROL DE DOCUMENTOS ELECTRÓNICOS

El uso intensivo de herramientas computacionales hace que gran parte de la información que se produce en las oficinas de diseño esté en formato digital, almacenada en servidores de archivos, discos duros de computadoras de escritorio o en medios ópticos como discos compactos y DVD. El aumento en la capacidad de almacenamiento de información digital permite a un usuario guardar enormes cantidades de información sin tener que preocuparse por la administración del espacio, lo que hace que eventualmente las áreas de almacenamiento se llenen de basura. Esta basura puede estar formada por versiones viejas no documentadas de archivos, archivos cuya información perdió vigencia y ya no se usa, archivos en formatos de programas de computadora que no están disponibles o que se desconocen y archivos que aún teniendo información vigente y útil han sido almacenados en el lugar incorrecto, con un nombre críptico o simplemente sus potenciales usuarios desconocen que existe.

El diseño de un proyecto de infraestructura civil de mediana envergadura puede tener fácilmente cientos de planos, decenas de documentos de cálculos, especificaciones y estudios. Por lo general cada uno de estos documentos está asociado a más de un archivo. Si a esto se le suma todo la información de apoyo y lo que se ha denominado basura, la cantidad de datos (bits) almacenada puede ser tan grande que los usuarios de los datos cargados que (Galletti (1999) llama "síndrome del pajar", que es la percepción de no disponer de suficiente información aún teniendo enormes cantidades de datos.

El almacenamiento indiscriminado de datos y la relativa facilidad con la que se puede acceder a ellos hace que el uso de información desactualizada o mala por parte de los grupos de diseños sea una de las fuentes de error más frecuentes en los procesos de diseño.

Parte de las posibles soluciones está en la utilización de programas de computadora que administren los documentos electrónicos; manejen versiones, controlen el acceso de usuarios a éstos, garanticen que se utilice un estándar en la forma en cómo se nombran los archivos y almacenen los archivos en lugares seguros.

Otro aspecto fundamental es la coordinación del manejo de los datos entre los diferentes grupos de diseño (disciplinas), de tal manera que se establezcan roles y responsabilidades dentro de los diseñadores con respecto a un proyecto y se defina sus relaciones, en términos de la información, con las disciplinas o grupos que interactúan en el mismo.

Con frecuencia un archivo electrónico puede tener más de un responsable y a su vez un archivo puede ser parte de más de un documento. El impacto que puede tener la información electrónica va más allá del simple ámbito del tipo de dato contenido. Por ejemplo, la información topográfica repercute directamente en casi todos los aspectos del diseño de un proyecto de infraestructura.

En la Figura 3 se esquematiza cómo la base de datos de los puntos topográficos tomados en el campo es usada directamente para hacer los estudios de hidrología e hidráulica, generar el modelo de elevación con el que frecuentemente se calcula el movimiento de tierra, se generan contornos de elevación y es, en resumen, la base en el diseño.

Otro aspecto es el almacenamiento seguro de la información digital. Este tipo de documentos no sólo está expuesto a las amenazas que afectan a cualquier documento en papel (incendios, robo, etc.). La posibilidad que se corrompa por virus de computadora que entran a las redes de las compañías directamente de Internet (correos, "hackers", etc.), o por

archivos infectados que entran los usuarios a los sistemas es algo que se debe considerar. La pérdida de información por corrupción de los archivos digitales es un factor frecuente de problemas dentro de un proyecto.

En un proyecto se hacen varias entregas de documentos, en algunos casos basados en la etapa en la que se encuentra el proyecto: conceptual, esquemático, preliminar o final. Algunos de los documentos que se entregan en una etapa son la evolución de los archivos que formaron el mismo documento en una etapa anterior.

Esto implica que si no se tiene un control de la información de tal manera de poder regresar a una instancia anterior, no sólo para poder hacer referencia a ella sino para cambiar la evolución de diseño, pueden ocurrir situaciones en donde los datos se hacen inservibles.

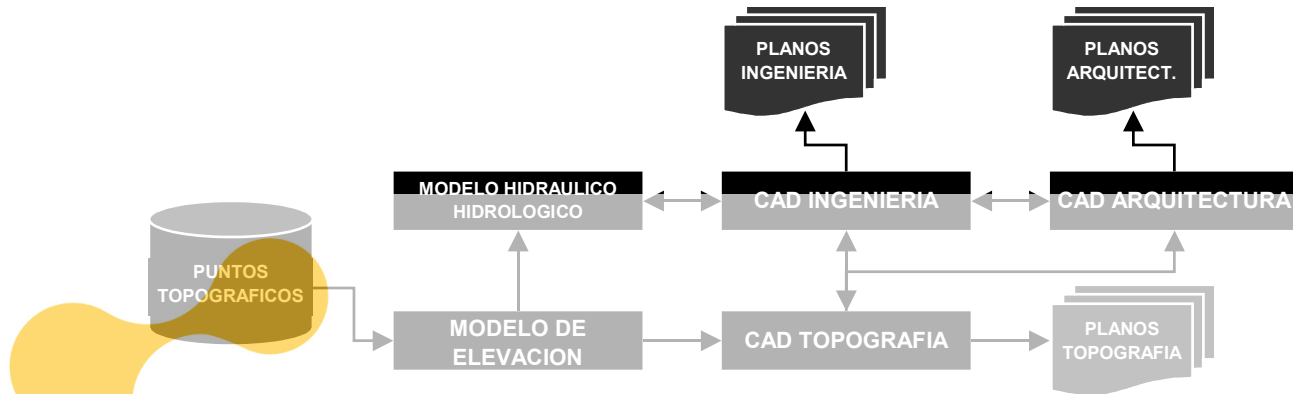


Figura 3: Ejemplo de base de datos de puntos topográficos.

Hay dos niveles al momento de recuperar información de instancias anteriores. En el primer nivel están los documentos que se imprimen. Garantizar futuras reimpresiones puede ser tan simple como hacer archivos de impresión que sean independientes del programa que los creó y cuyo formato sea un estándar de la industria, como por ejemplo los archivos en formatos HPGL, PDF y TIFF.

En otro nivel están la mayoría de los archivos de bases de datos y aquellos cuyo proceso es irreversible. En este caso, si no existen copias exactas de todos los archivos que conforman la entrega o si no se usan programas que estén en capacidad de manejar versiones, resulta imposible regresar a una instancia anterior en el diseño.

Aunque a priori parece un asunto puramente administrativo, el control de documentos electrónicos repercute directamente en los procesos de diseño. Generalmente la complejidad de los datos y la interrelación entre los archivos obliga a que los técnicos se involucren directamente en la forma de administrar, de tal manera que se evite la pérdida de información o se utilice la inadecuada.

## CONCLUSIÓN

La decisión de usar herramientas computacionales dentro de los procesos de diseño debe ser parte de la planificación de los proyectos. No es suficiente con tener estas herramientas, es necesario preparar los datos para que puedan ser usados por estas herramientas, garantizar que la infraestructura computacional con la que se cuenta soporte estos procesos en términos de velocidad de proceso, comunicación y almacenamiento de la información.

Es necesario garantizar que los usuarios no sólo entienden el problema y sus soluciones, sino que están en capacidad de adaptar las herramientas computacionales a estas soluciones o las soluciones a las herramientas. Los usuarios deben estar en capacidad de entender la estructuración de información digital, cómo se relaciona entre sí, cuáles son sus atributos y cómo puede ser usada con las herramientas. El control de la documentación electrónica se debe de considerar desde la planificación del proyecto. Un inadecuado control puede repercutir en un proyecto al ser fuente de errores.

## REFERENCIAS

- Anónimo. (2002), *Information Technology & e-Business Survey of Architecture, Engineering, Planning & Environmental Consulting Firms*. Chapter 6. Zweig White, Washington D.C., 2002.
- Cook, R. D., Malkus, D.S., y Plesha, M.E. (1989), *Concepts and Applications of Finite Elements*, Third Edition, Chapter 8, Wiley.
- The American Institute of Architects. (2002), *AIA Firm Survey 2000-2002*. AIA, Washington D.C.
- Anónimo. (2002), United States National CAD Standard, version 2.0, CSI, AIA, NIBS, US Coast Guard.

Bohórquez, J.B. y Cardoso, R.C. (1999), *Eficiencia de Algoritmos, Notas del Curso 21-371*, Universidad de los Andes, Bogotá, Colombia.  
Goldratt, M. (1991), *Haystack Syndrome: Sifting Information Out of the Data Ocean*, North River Press.



Register for free at <https://www.scipedia.com> to download the version without the watermark