

ESTUDIO COMPARATIVO DE APLICACIONES DE DELINEACIÓN POR ORDENADOR

Ana Piquer Vicent (1); Nuria Aleixos Borrás (1); Vanesa Galmes Gual (1);
Pedro Company Calleja (1)

⁽¹⁾Universitat Jaume I, España
Departamento de Tecnología
Área de Expresión Gráfica en la Ingeniería
Correo electrónico: pvicent@tec.uji.es

RESUMEN

El mercado de las aplicaciones de delineación asistida por ordenador está cambiando. Dos factores influyentes son la reaparición de aplicaciones académicas con unos métodos de distribución amplios y “casi” gratuitos, y la irrupción en el ámbito de la delineación de aplicaciones basadas en los motores geométricos relacionales de algunas aplicaciones CAD de modelado.

Tras una época de predominio de AutoCAD, el mercado de las aplicaciones de delineación asistida por ordenador está comenzando a sufrir cambios importantes. Estos cambios son provocados, por una parte, por la madurez de la disciplina, que ha permitido que comiencen a surgir iniciativas de software libre. Por otra parte, las aplicaciones de tipo relacional, procedentes del campo del modelado, están empezando a competir con las aplicaciones más clásicas.

En esta comunicación se revisan los aspectos más significativos de cuáles son y cómo se pueden valorar las diferentes prestaciones que una aplicación CAD 2D puede ofrecer. Dado que la oferta es excesivamente amplia, para el estudio se han preseleccionado sólo cuatro aplicaciones que consideramos representativas. Se justifican los criterios de selección utilizados, para que la comparación se pueda extender a otras aplicaciones no directamente consideradas en el presente trabajo.

Palabras clave Diseño Asistido por Ordenador, Dibujo Asistido por Ordenador, CAD 2D, CAD paramétrico, CAD variacional, CAD relacional.

ABSTRACT

Computer Aided Drafting's market is changing. Two important factors in these changes are: the academic software with wide and “almost” free distribution methods are coming out, and new applications in 2D technical drawing world based on geometric relational engines from some modelling CAD software are appearing.

After a season with AutoCAD as the predominant software, now the market of computer aided design applications is undergoing big changes. On the one hand, these changes have been produced by the maturity of the subject, which has allowed free software to appear. On the other hand, relational applications from modelling fields have started to compete with more classical applications.

The most important aspects about which and how a 2D CAD application can be evaluated are shown in this paper. Due to the wide number of applications for this study, we selected just four representative applications. The selection criteria are justified, thus the comparison can be extended to more applications, even when these are not considered in this work.

Key words: Computer Aided Design; Computer Aided Drafting; 2D CAD; parametric CAD, variational CAD, relational CAD.

1. Introducción

Las denominaciones CAD 2D y CAD “de delineación” se utilizan como sinónimo de CADD (Computer Aided Design Drafting), que hace referencia a las aplicaciones orientadas al dibujo asistido, o más genéricamente, a las aplicaciones que intervienen en el proceso de representación geométrica bidimensional asociada al proceso de diseño y proyecto de ingeniería.

Las aplicaciones 2D potencian la capacidad de generar dibujos de ingeniería, son fáciles de introducir en sustitución de los procesos tradicionales de delineación y aumentan notablemente la precisión y la velocidad en la generación de planos.

Gracias a una estrategia comercial agresiva, basada en una aplicación de propósito general que se actualiza con mucha frecuencia y se complementa con módulos específicos que atraen a sectores muy concretos, Autodesk (con su producto AutoCAD®) ha mantenido una situación preponderante en el mercado de aplicaciones CAD 2D. Hasta la fecha, este dominio sólo ha podido ser parcialmente contrarrestada por el segundo distribuidor mundial: Bentley (con su producto MicroStation®) que ha seguido la misma estrategia, y se ha limitado a competir en eficiencia y amigabilidad, sin cuestionar el enfoque. No obstante, el mercado actual está cambiado, debido principalmente a la reactivación del mercado de aplicaciones académicas, ahora con unos métodos de distribución amplios y “casi” gratuitos, y la irrupción en el ámbito de la delineación de aplicaciones basadas en los motores geométricos relacionales de algunas aplicaciones CAD de modelado.

La incidencia de las tecnologías CAD en la Expresión Gráfica en la Ingeniería es un tema recurrente que ha sido objeto de discusión desde el I Congreso de Ingeniería Gráfica [Leice88], y ya ha sido tratado por alguno de los autores [Cone98]. El debate de la delineación (2D) frente al modelado (3D) asistido por ordenador también es un tema de interés pero que no se considera en el presente trabajo, porque se presenta otro trabajo [Aleixos02] que se centra en el estudio de las aplicaciones de modelado. Por tanto, son temas que no se tratan en este trabajo. Lo que es incuestionable es que las oficinas de ingeniería y arquitectura utilizan herramientas informáticas de Diseño Asistido por Ordenador, y que los criterios para decidir cuál es la aplicación CAD 2D más apropiada, sí que están cambiando rápidamente, y parece oportuno que sean objeto de estudio.

En la presente comunicación se revisan los aspectos más significativos de cuáles son y cómo se pueden valorar las diferentes prestaciones que una aplicación CAD 2D puede ofrecer. Dado que la oferta es excesivamente amplia (tal como puede deducirse por ejemplo de [García01]), nos vamos a limitar a valorar cuatro aplicaciones que consideramos representativas. Además, previamente vamos a justificar los criterios que consideramos más significativos para comparar las diferentes aplicaciones; a fin de que la comparación se pueda extender a otras aplicaciones no directamente consideradas en el presente trabajo.

Así, las aplicaciones seleccionadas para la comparación han sido las dos aplicaciones que dominan el mercado actual (AutoCAD y MicroStation), con otras que, aunque minoritarias, apuntan tendencias que creemos que pueden originar cambios en el mercado a corto o medio plazo. En concreto, se ha estudiado un software que se proclama “de libre distribución” y que tiene también la característica destacada de que distribuye el código original del mismo y permite que el usuario modifique libremente cualquier parte del mismo. Se trata de IntelliCAD, en la versión distribuida por CADopia. Y la última aplicación que hemos comparado es Imagineer®, de Intergraph, por ser representativa de las aplicaciones paramétricas o relacionales.

2. Criterios generales de valoración de aplicaciones CAD 2D

Entendemos que para seleccionar una aplicación informática hay criterios generales que miden muchas prestaciones relacionadas con la *viabilidad* y la *rentabilidad* de la herramienta. Así al considerar criterios generales de selección de una aplicación CAD 2D hay que atender al nivel tecnológico de los diferentes ámbitos de trabajo. Por ejemplo, no es igual la herramienta apropiada para Ingeniería de Producto que la apropiada para Ingeniería de Obra Civil. También hay que considerar aquellos criterios que miden la rentabilidad de la herramienta, que se pueden centrar en medir el incremento de productividad que puede producir. De entre estos criterios generales podemos destacar:

Compatibilidad: En el momento de la elección de una aplicación CAD hay que considerar todas las posibles necesidades futuras de almacenamiento e intercambio de datos, tanto las de la propia empresa, como las de los clientes y los suministradores. Por tanto, la compatibilidad de la información (ya sea directo o en un formato neutro), debe ser un criterio prioritario, máxime si atendemos a que no hay compatibilidad total entre todas las aplicaciones CAD. Tanto el “know-how” (la experiencia) como la comunicación con clientes y proveedores dependen de lograr una buena compatibilidad.

Versatilidad, curva de aprendizaje: No todas las aplicaciones CAD ofrecen las mismas facilidades para la creación de todos los tipos de Dibujos en Ingeniería. Por ello la *variedad* de dibujos que una misma aplicación CAD puede generar, y la *facilidad* para hacer la migración (desde una situación de delineación clásica, o desde otra herramienta CAD 2D), son criterios importantes en un proceso de selección de aplicaciones CAD.

Seguridad: Los Dibujos de Ingeniería tienen valor legal como documentos contractuales de los procesos de diseño y proyecto. Las facilidades para controlar los accesos a los planos electrónicos constituyen, por tanto, un criterio importante para valorar las diferentes aplicaciones.

Coste: Las diferencias de coste de las licencias de diferentes aplicaciones de delineación no son importantes. Por lo tanto el coste sería un factor secundario en la decisión. Aunque puede llegar a ser un factor influyente dependiendo de a quién vaya dirigido el producto; porque el coste de una licencia de software no repercute en un estudiante y en una empresa multinacional de la misma forma. Tampoco consideramos la diferencia de coste entre utilizar herramientas CAD 2D o mantener la delineación clásica, porque ya hemos indicado que dicha alternativa nunca es rentable.

3. Criterios específicos de valoración de aplicaciones CAD 2D

Los criterios específicos están vinculados al comportamiento de las aplicaciones CAD 2D frente al usuario, por lo que podemos enfocar el estudio de las prestaciones de dichas aplicaciones atendiendo directamente a las características que lo definen.

3.1 Papel virtual

El “papel virtual” de una aplicación CAD se diferencia básicamente respecto a un papel convencional es que el tamaño máximo de la “hoja” es mucho mayor. No obstante, la *precisión* y el *tamaño* máximos podrían ser criterios de comparación entre diferentes aplicaciones. La facilidad de *impresión*, las principales herramientas de “navegación” (*encuadre* y *zoom*), su facilidad de uso, su carácter de órdenes transparentes y su accesibilidad son también aspectos a valorar.

Mientras AutoCAD e IntelliCAD gestionan directamente el tamaño máximo del papel y subordinan la precisión del trazado, Microstation permite elegir la precisión del trazado, a partir de la cual se deduce el tamaño de papel disponible. Pero, en ambos casos, la

máxima precisión alcanzable y el máximo tamaño de papel son del mismo orden de magnitud. Por lo que la distinción entre espacio-papel y espacio-pantalla que realiza AutoCAD supone quizá la única diferencia significativa en el tratamiento del papel virtual.

3.2 Representación de figuras

Para conseguir ahorro de tiempo y aumento de precisión en la delineación asistida de planos de diseño se deben optimizar los métodos de creación, modificación y agrupación de las figuras.

Parece obvio que cuantas más primitivas básicas tenga una aplicación (figura 1), tanto más se simplificará el trabajo. Sin embargo, disponer de primitivas que se utilizan pocas veces no aporta grandes ventajas y si que puede dificultar la utilización de la aplicación (porque un menú muy grande dificulta el acceso al mismo). Por tanto, hay que buscar una solución de compromiso, de forma que una aplicación será buena cuando consiga que aparezcan como básicas todas las primitivas que se usan más habitualmente, pero sin renunciar a un acceso simple y directo al menú.

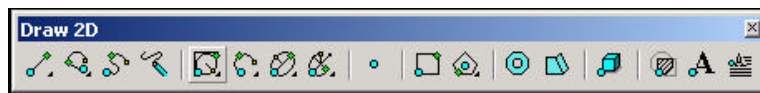


Figura 1: Catálogo de primitivas de IntelliCAD

3.3 Amigabilidad del entorno de delineación

La curva de aprendizaje de una aplicación CAD 2D es importante cuando se plantea la implantación de una nueva aplicación en toda una oficina de proyectos o gabinete de diseño. Uno de los aspectos que influyen en esta curva de aprendizaje es la amigabilidad del entorno.

Ya se ha comentado la conveniencia de un acceso simple y directo a las primitivas más usadas. Los menús redefinibles (aquellos que cambian sus botones en función de la última herramienta utilizada y de su frecuencia de utilización) sirven a este propósito. Será tarea del gestor de la aplicación CAD reconfigurarlo, para definir una estructura que asegure que todos los usuarios puedan disponer de los botones necesarios, y que puedan acceder a ellos del modo más sencillo. La metodología de menús desplegables con estructura de “caja de herramientas” (en donde la última herramienta utilizada es la que está más accesible) es la más amigable de las que se están usando hasta la fecha (ver figura 2).

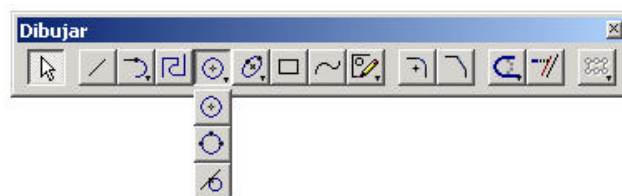


Figura 2: Caja de primitivas de Imagineer con menús redefinibles o “apilables”

3.4 Personalización realizada por el usuario:

La configuración de una aplicación se puede adaptar a las preferencias de cada usuario en un proceso denominado personalización. Que puede ser *personalización de variables*:

- Modificar las variables internas sujetas a ajustes de forma que éstas mantienen un valor asignado hasta que dicho valor sea explícitamente modificado. Se conservará así en las próximas sesiones en un mismo ordenador, pero sólo permite almacenar una configuración. El ejemplo típico son las variables de acotación, que permiten configurar diferentes estilos (ANSI, ISO, etc.).
- Vincular cada nuevo diseño a un *fichero plantilla* (Autocad-Intellicad), o también denominado *prototipo* o *semilla* (MicroStation). Tienen como ventajas principales que mantienen tantas configuraciones como queramos, las configuraciones propias no son afectadas por las de otros usuarios, y que también pueden almacenar figuras (como los cajetines, recuadros, etc.).

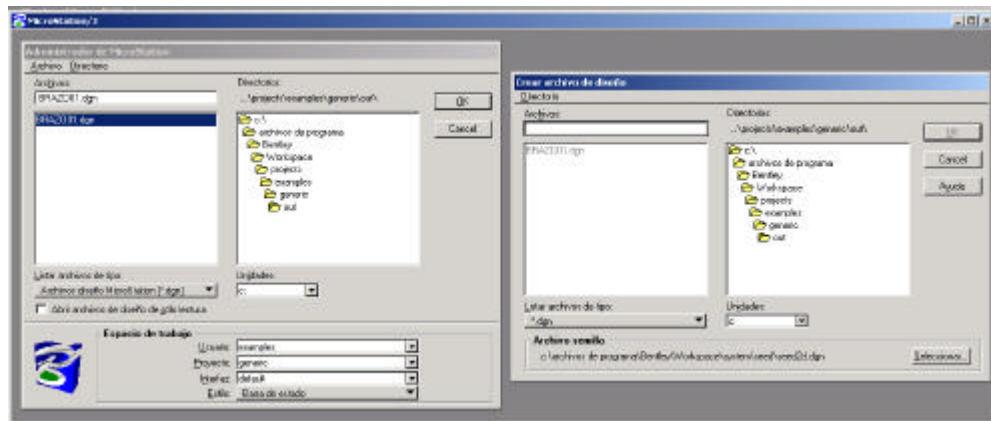


Figura 3: Creación de un nuevo fichero de dibujo, con asignación de su fichero semilla

Y *personalización de funciones*:

- Las *macros* son la forma más extendida de personalización y automatización de tareas. Éstas no son más que “listas” de órdenes que se definen y se guardan para ser utilizadas en cualquier momento.
- La opción más avanzada es la de modificar el código fuente: En algunas ocasiones es interesante disponer del código fuente de la aplicación para tener la posibilidad de programar funciones teniendo un control total o parcial sobre la aplicación. Esto permite personalizar la aplicación de una forma mucho más exacta modificando las funciones ya establecidas, o creando otras nuevas. Estas personalizaciones pueden realizarse en un lenguaje de programación estándar o en un lenguaje propio del sistema. Así mismo, la aplicación puede poseer su propio entorno de trabajo, o ser compatible con entornos de programación de amplia comercialización. El grado de influencia de este punto en la decisión de adquisición del producto vendrá directamente ligado al nivel tecnológico de la empresa, al grado de especialización requerido y a la capacidad de personal cualificado que la empresa disponga.

Hay que destacar que la personalización (en cualquiera de sus modalidades) tiene dos ventajas importantes. En primer lugar, al personalizar el entorno, este resulta más amigable y en consecuencia se aumenta la eficiencia y se disminuye la posibilidad de cometer errores. En segundo lugar, la personalización favorece que los dibujos que se generan se ajusten a las diferentes normas de representación.

3.5 Instrumentos virtuales para delineación por ordenador: Filtros de movimiento

Los instrumentos para delineación son todas aquellas herramientas y todos los ajustes que se pueden manipular para construir figuras geométricamente válidas.

Las *rejillas* se suelen utilizar en compañía de los *filtros de movimiento por espaciado*; cuya utilización simula el dibujo sobre papel milimetrado, por lo que se trata de una forma de trabajo sólo apropiada para dibujos muy sencillos y con baja precisión.

Los *filtros para coordenadas* permiten bloquear el movimiento del cursor en cada una de las coordenadas. No suponen una gran ventaja porque hay que realizar cálculos analíticos para convertir las restricciones de diseño en coordenadas.

Los *filtros de movimiento por orientación* se basan en la simulación de los instrumentos clásicos para trazado de paralelas, perpendiculares, ángulos de 30°, 45° y 60°, etc. Hay ciertas versiones, como el dibujo “ortogonal”, que tan sólo permiten dibujar líneas paralelas al eje X o al eje Y. Simulan el “paralex” o la regla en “T”. Pero aportan como ventaja la selección del caso más apropiado de forma automática. Otras herramientas (como el “compás para dibujos de precisión”, o Accudraw), se van adaptando de forma automática a las direcciones principales. Estas direcciones principales las determina el usuario; bien de forma explícita, o bien implícitamente, por medio del uso que le da a la propia herramienta. El resultado, será que el trazado de paralelas y perpendiculares estará siempre referido a las últimas direcciones principales (al igual que lo hacen los tecnígrafos tradicionales). Se trata, por tanto, de permitir un estilo de trabajo semejante al apropiado para un tablero de dibujo convencional, pero facilitando o eliminando ciertas operaciones auxiliares que requieren los instrumentos clásicos a los que suplantán.

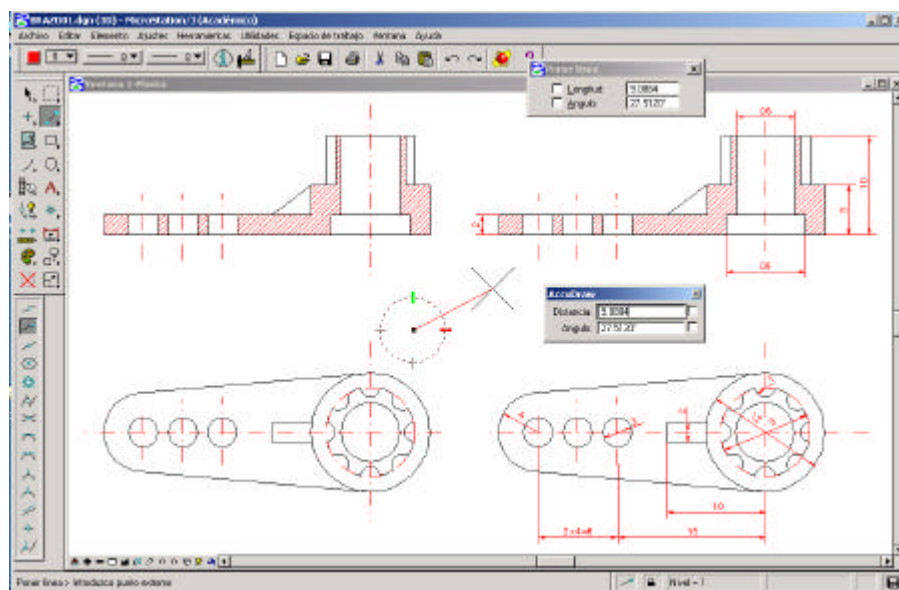


Figura 4: El “Accudraw” de MicroStation es la herramienta de guiado del lápiz más versátil y amigable

Obviamente, estas últimas son las herramientas más populares entre los usuarios que tienen experiencia en la delineación con instrumentos clásicos; dado que consiguen un aumento notable de la precisión y la velocidad sin cambiar sus hábitos de trabajo.

3.6 Instrumentos virtuales que captan la intención del diseñador: filtros de selección.

Los filtros de selección de entidades (o “referencias a entidades”, o “snaps”) se utilizan para establecer vínculos entre diferentes primitivas en el momento de crearlas. Los filtros sirven para definir la posición de la segunda primitiva a partir de algún elemento definitorio de la primera.

La selección de entidades de cualquier aplicación CAD dispone de opciones capaces de determinar puntos de referencia relativos a una gran variedad de condiciones geométricas de forma automática, reduciendo o eliminando completamente la necesidad de hacer construcciones auxiliares para ello. Aunque también suelen estar automatizadas otras tareas que implican construcciones con condiciones de paralelismo, perpendicularidad y tangencia.

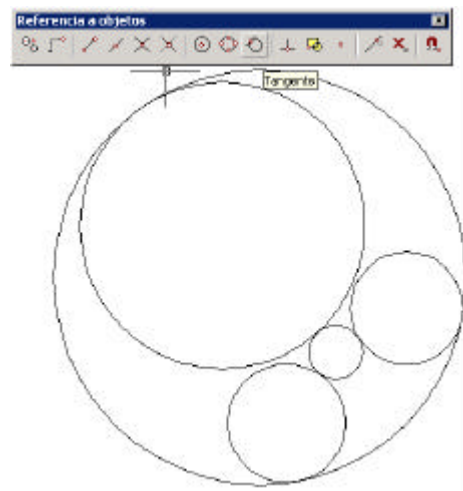


Figura 5: Filtros de selección de entidades de AutoCAD aplicado a la construcción de dos circunferencias tangentes a otras tres.

Las construcciones previamente programadas varían de una aplicación a otra. Por ejemplo, mientras algunas aplicaciones sólo resuelven los casos más sencillos de recta tangente a una circunferencia, en otras aplicaciones se puede obtener automáticamente cualquiera de las ocho circunferencias que son simultáneamente tangentes a otras tres.

Hemos constatado que las aplicaciones CAD 2D más sencillas sólo permiten construir rectas tangentes a circunferencias, mientras que las más completas, permiten todo tipo de combinaciones de tangencia entre rectas y circunferencias. Además, en las aplicaciones más sencillas, las construcciones están incluidas como opciones en el menú de primitivas (“construir recta tangente a circunferencia”), y no se ofertan como filtros independientes.

3.7 Asociación de elementos no gráficos al dibujo

En los proyectos de ingeniería es común generar gran cantidad de información que, sin ser gráfica, está directamente vinculada con los planos. Tanto los pliegos de condiciones, como las mediciones, los presupuestos, etc., están íntimamente relacionados con los planos.

Cualquier modificación o rediseño implicaría modificar todos estos documentos ya elaborados. Por ello, es más eficiente, rentable y seguro generar al principio las especificaciones vinculadas al diseño que asumir la responsabilidad de actualizar toda la documentación.

Las etiquetas y las herramientas para generar informes a partir de las etiquetas aportan un modo cómodo y eficiente de crear y mantener la documentación de proyecto de forma automática a partir del diseño.

3.8 Parametrización

Las referencias a entidades (o snaps) sirven para construir figuras que cumplen ciertas condiciones. Pero las condiciones no se almacenan una vez se ha terminado de concluir

la figura. Por ejemplo, una recta construida como tangente a una circunferencia, dejará de ser tangente si posteriormente se modifica la circunferencia.

Para que esto no ocurra, las restricciones (ver figura 6) deben incorporarse explícitamente a la base de datos del dibujo.

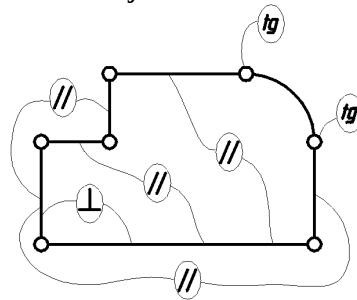


Figura 6: Restricciones geométricas

Las restricciones normalmente se clasifican en tres tipos diferentes:

- *Númericas*: longitudes, diámetros, ángulos y cualquier otra magnitud cuantificable numéricamente.
- *Geométricas*: paralelismo, perpendicularidad, tangencia y concetricidad entre otras.
- *Algebraicas*: condiciones geométricas que se materializan en un conjunto de ecuaciones, que pueden ser tan simples como: el punto A tiene por coordenadas (x,y,z); o más complejas como: la longitud de la línea B es la mitad que la longitud de la línea A.

En los sistemas paramétricos las restricciones se capturan y resuelven en el orden en que se han introducido: el diseño está controlado por un grafo dirigido que refleja la “historia” de creación de la figura. Las variables que intervienen en una restricción algebraica deben de haber sido definidas con anterioridad en otra restricción; es decir cada entidad geométrica se sitúa con referencia a otras previamente definidas.

En los sistemas variacionales, por el contrario, el conjunto de ecuaciones se resuelve simultáneamente, (mediante la resolución de un sistema de ecuaciones no lineales) por lo tanto la ordenación o la “historia” de creación no es importante.

De las aplicaciones estudiadas, sólo Imagineer es paramétrico. Aunque la versión 8 de MicroStation también se anuncia con plenas capacidades de diseño paramétrico.

4. Comparación entre las aplicaciones estudiadas

Las características descritas arriba han sido valoradas para las cuatro aplicaciones estudiadas. Una primera clasificación se puede obtener comprobando si una aplicación permite (•) o no permite (–) realizar una tarea. Para distinguir mejor, se ha recurrido a clasificar de una (*) a tres estrellas (***) cuando el grado de cumplimiento es manifiestamente diferente.

La conclusión más importante es que las aplicaciones de tipo variacional permiten trasladar la intención del diseñador al dibujo con más facilidad, y además, conservan dicha intención. Por tanto, este debería ser el principal criterio para seleccionar una aplicación CAD 2D en ambientes donde el reducido tiempo de diseño, el cambio de especificaciones durante el diseño, el rediseño y la coordinación entre diferentes diseñadores, proveedores y clientes es el cuello de botella. Por el contrario, la facilidad para “decorar” e imprimir planos es importante sigue siendo importante en ambientes donde la producción no es seriada (por ejemplo en la Ingeniería de Obra Civil).

Tabla 1: Valoración del cumplimiento de los criterios específicos de diferentes aplicaciones CAD 2D

	AutoCAD	MicroStation	IntelliCAD	Imagineer
Compatibilidad	*	**	**	***
Con formato neutro	-	-	-	-
Con otros programas	-	Con Autocad	Con Autocad	Con Autocad y MicroStation
Versatilidad	***	***	***	***
Seguridad	**	**	**	**
Coste	Licencias académicas	Licencias “Campus”	Gratis (pago por acceso al código fuente)	Licencia académica con compra de manual
Papel virtual:				
Límites y precisión	***	***	***	***
Impresión	***	***	***	***
Navegación	***	***	***	***
Representación de figuras	***	***	***	***
Amigabilidad	***	***	***	***
Personalización de :				
Variables	**	**	**	**
Funciones	*	*	*	***
Instrumentos de guiado:				
filtros de movimiento por orientación	*	***	*	**
filtros de selección de entidades	***	***	*	-
Asociación de elementos no gráficos	***	***	*	***
Parametrización	-	En versión 8	-	-

5. Conclusiones

Las aplicaciones CAD 2D comerciales dominantes en el mercado, están actualizándose para incorporar tratamiento relacional de las figuras geométricas. Por tanto, es posible que mantengan su predominio actual. Pero el empuje de algunas iniciativas comerciales que se basan en motores geométricos relacionales y que están incorporando las facilidades más clásicas de delineación puede modificar la situación a medio plazo. La incidencia puede ser mayor en el ámbito de la Ingeniería Mecánica que en el de la Arquitectura y la Ingeniería de Obra Civil.

Las aplicaciones académicas siguen siendo menos competitivas que las aplicaciones comerciales, tanto en prestaciones como en coste. En prestaciones no alcanzan a las aplicaciones comerciales. Y en coste, no son totalmente gratuitas y su política comercial ha quedado superada porque la existencia de algunas iniciativas académicas ha forzado una apertura del mercado del software comercial, en el que se están potenciando la aparición de licencias “campus”.

Desarrollar una aplicación CAD académica sigue siendo un camino erróneo, tal como ya se defendía en [Comp90]. Máxime cuando no sólo no se puede justificar por criterios económicos, sino que tampoco se puede justificar por criterios académicos. Disponer de software abierto, a precio razonable y con unas prestaciones y una

implantación más general que la que puede conseguir cualquier desarrollo propio hacen que esta opción siga sin tener justificación.

Sin entrar en el debate de la conveniencia de desechar el CAD 2D y utilizar únicamente herramientas CAD 3D, si que se concluye que la dificultad de migrar de una herramienta CAD 2D a otra es la causa más probable de que no se estén imponiendo las aplicaciones de tipo relacional, pese a que pueden suplir con gran ventaja a las más clásicas.

6. Referencias bibliográficas

- 1) LEICEAGA, J.A. "La Expresión Gráfica y el Computador" Actas de Primeras Jornadas de Expresión Gráfica en la Ingeniería, pags. 95-115, (1989).
- 2) CONESA, J., COMPANY, P. y GOMIS, J.M., "La estructura del aprendizaje en el contexto de los sistemas CAD". Actas del X Congreso internacional de Ingeniería Gráfica. Volumen III, (ISBN 84-89791-08-2), 1998, pp. 41-55.
- 3) DIX, M. y RILEY, P. Descubre AutoCAD 2000. Ed. Prentice Hall. Madrid. 2000. ISBN: 84-8322-223-X.
- 4) FRANCO, J. y FRANCO, J.C. MicroStation J. Ed. Anaya multimedia. Madrid. 2001. ISBN: 84-415-1005-9
- 5) MERINO, M., CORBELLÀ, D., OCAÑA, R., RECIO, M.M. y BLAYA, F. Diseño asistido por ordenador con Intergraph Imagineer Technical. Ed. Díaz de Santos. Madrid. 1998. ISBN: 84-7978-367-2.
- 6) CADopia. IntelliCAD by CADopia. User Guide. Ed. IntelliCAD Technology Consortium. 1999.
- 7) URL: www.cadopia.com
- 8) URL: www.intellicad.org
- 9) URL: www.bentley.com
- 10) URL: www.autodesk.com
- 11) URL: www.opendwg.org
- 12) GARCIA, R. P., SUAREZ, J. y ALVAREZ, P. I. "Recursos CAD en la red". Actas del XIII Congreso de Ingeniería Gráfica. Badajoz. 2001.
- 13) TRONCOSO, J.C. y ALONSO, J.A. "IntelliCAD. Una alternativa gratuita al AutoCAD". Actas del XIII Congreso de Ingeniería Gráfica. Badajoz. 2001.
- 14) ARGÜELLES, R., ATKINSON, A.D.J. y GARCIA, M. J. "RAMCAD: un cad para la enseñanza". Actas del XIII Congreso de Ingeniería Gráfica. Badajoz. 2001.
- 15) COMPANY, P. "Una propuesta de lógical como soporte a la Docencia de la Expresión Gráfica" Actas del II Congreso de Expresión Gráfica en la Ingeniería, pags. 1-15, 1990.