

# Algoritmos evolutivos y simulación numérica en problemas de optimización hidrodinámica

V. Díaz Casás  
Fernando López Peña  
Marcos Miguez González  
Richard J. Duro

*Grupo Integrado de Ingeniería, Universidade da Coruña*

Ponencia presentada en el 46 Congreso de Construcción Naval "Estrategias para el Sector Marítimo Español" que tuvo lugar en Sevilla los días 30 y 31 de octubre de 2007

## Índice

1. Introducción
2. Entorno de diseño
3. Módulo de búsqueda
  - 3.1. Algoritmos genéticos
  - 3.2. Estrategias evolutivas
  - 3.3. Programación evolutiva
  - 3.4. Algoritmos macroevolutivos
4. Módulo de decodificación
5. Simulador hidrodinámico
  - 5.1. Método de volúmenes finitos
6. Experimentos numéricos
7. Conclusiones
8. Bibliografía

## 1. Introducción

En este trabajo se presenta los de entorno de optimización en el que se combinan algoritmos evolutivos con técnicas de simulación numérica aplicadas a problemas de hidrodinámica. La estrategia de optimización seguida en este entorno se estructura en tres partes principales: un módulo de búsqueda basado en algoritmos evolutivos, un módulo de decodificación, que permite pasar de la definición paramétrica de cada solución a la forma tridimensional del modelo, y un módulo de evaluación que está basado en un simulador hidrodinámico.

La complejidad de este entorno hace necesario que sea abordado desde un punto de vista multidisciplinar que combine diferentes áreas de conocimiento:

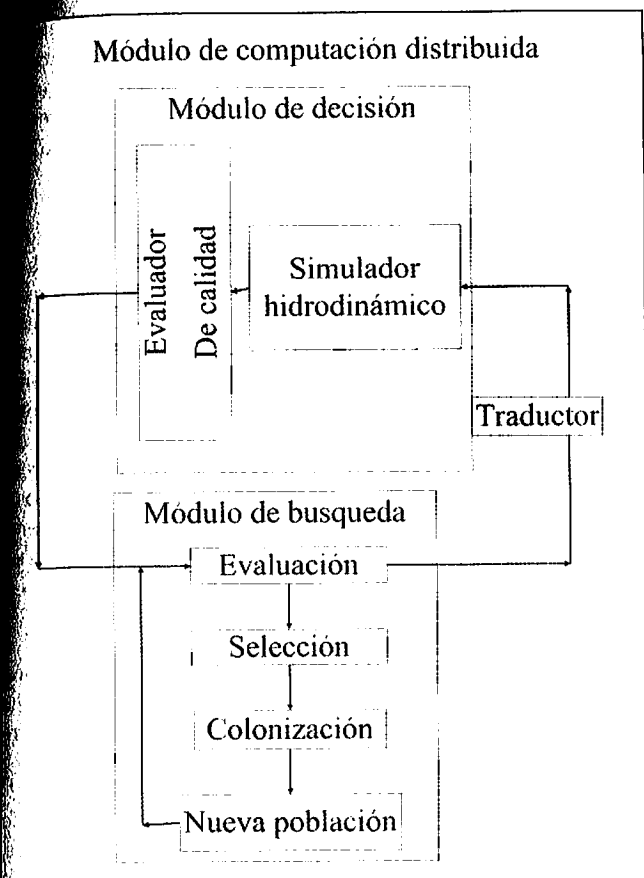
- Construcción naval. Para el problema de optimización es necesario establecer las características del problema y las restricciones aplicables a los modelos buscados. Además tiene que contemplar la respuesta estructural y el comportamiento dinámico del buque y su efecto sobre el comportamiento de los distintos elementos.
- Mecánica de fluidos. En un proceso de optimización es necesario establecer una medida de calidad de cada una de las alternativas; en los casos que se plantean aquí ha de ser abordada mediante técnicas de mecánica de fluidos computacional.
- Computación evolutiva. Necesaria para la creación de la estrategia de optimización.
- Análisis de señales. Necesario para el procesado de los datos de los ensayos experimentales realizados para validar los resultados numéricos.

## 2. Entorno de diseño

El entorno de diseño empleado en este trabajo ha sido creado con el objetivo de alcanzar resultados en procesos de diseño genérico. Lo cual implica que esta implementación contiene un conjunto de bloques independientes que pueden ser sustituidos y reestructurados dependiendo del proceso concreto de diseño que se trate y de la clase de simulaciones y evaluaciones requeridas. La estructura básica del proceso de diseño está compuesta de tres bloques:

- Bloque de búsqueda de solución, que integra los algoritmos evolucionistas. En él, dada una población y su calidad se abordan los cálculos para generar los individuos de la siguiente generación.
- Bloque de decisión. En este bloque se realiza la evaluación de los distintos individuos de forma que para cada alternativa. De esta forma puede establecerse una medida de calidad que permita seleccionar las mejores alternativas.
- Bloque de distribución computacional. El elevado coste computacional de estas estrategias exige que se realice de forma distribuida, es decir, repartir la carga total de trabajo entre distintos nodos de procesado. Esto exige la coordinación de la información requerida en cada nodo y la transmisión de información entre los mismos, así como la gestión de los diferentes módulos que intervienen en este proceso.

Si bien el bloque de distribución computacional es el que controla el proceso de diseño a más bajo nivel, es el que tiene que ser más flexible ya que tiene que dar soporte a los módulos de búsqueda y de decisión, los cuales pueden requerir muy diversas configuraciones. Por un lado el algoritmo de búsqueda puede optar por realizarse en un solo nodo o descomponer su búsqueda por razas y, dentro de estas, hacer un análisis por subgrupos cada uno en un nodo. Por otro lado, la evaluación de cada individuo puede realizarse en un solo nodo o en varios nodos, esto último es necesario en problemas con grandes exigencias de cálculo como el estudiado en este caso.



Figuración 1. Esquema del entorno de diseño

## Módulo de búsqueda

El módulo de búsqueda se plantea como un sistema abierto en el cual pueden utilizarse diferentes algoritmos de optimización, adecuándose a los requerimientos del problema objetivo. Para abordar los problemas planteados se ha optado por emplear algoritmos evolutivos puesto que estos presentan una serie de ventajas respecto a otros métodos de búsqueda:

- Se pueden aplicar fácilmente a cualquier problema, basta idear una representación adecuada.
- Realizan la búsqueda de la solución desde múltiples puntos simultáneamente, con lo que son menos susceptibles de caer en máximos locales que métodos que realizan esta búsqueda desde un único punto.
- Son muy fácilmente paralelizables.

Estos algoritmos, cuyo concepto básico aplicado a la obtención de sistemas de control robóticos ya planteó Norbert Wiener (1) en 1948, hacen uso de una analogía entre el proceso evolutivo en la naturaleza y la búsqueda de una solución en un espacio determinado.

Básicamente, tenemos una población inicial de individuos. Cada individuo es una posible solución al problema (un punto en el espacio de soluciones) y viene caracterizado por uno o varios cromosomas. Esta población evoluciona con el tiempo: los individuos se combinan y sufren mutaciones en los genes de sus cromosomas, de tal forma que las posibilidades que tienen de pasar, ellos o sus descendientes, a la siguiente generación son proporcionales a lo cerca que estén de la solución del problema. La forma en la que los individuos se combinan, cómo tienen lugar las mutaciones, la frecuencia de ambas formas de reproducción y sobre qué individuos se producen, dan lugar a los diversos tipos de algoritmos evolutivos.

En el caso que nos ocupa, los individuos representan los parámetros que determinan las características y forma del modelo. Para determinar lo cerca que está un individuo de la solución óptima, se corresponde con los genes

de dicho individuo, y se le asigna una calidad en función de los resultados del simulador aerodinámico. Esta calidad determina las posibilidades de reproducirse del individuo, y así se van obteniendo nuevas poblaciones de individuos que se corresponden cada vez más con el diseño objetivo.

Bajo esta denominación de algoritmos evolutivos se engloban todas las técnicas que tratan de simular el proceso de la evolución natural. Los tipos principales son los algoritmos genéticos, las estrategias de evolución y la programación evolutiva, que describiremos a continuación, y que se diferencian fundamentalmente en los mecanismos de reproducción utilizados. También describiremos una nueva aproximación, basada en un ecosistema con especies, conocida como algoritmos macroevolutivos, y que ha sido la utilizada para resolver nuestro problema por sus peculiares características.

### 3.1. Algoritmos genéticos

Las bases de los algoritmos genéticos fueron propuestas por John Holland (2) a principios de la década de 1960 y la idea de los algoritmos genéticos como tales fue propuesta por él mismo en 1975. El funcionamiento de este tipo de algoritmos se puede resumir en el siguiente procedimiento:

Sean:

- $I$ , el espacio de búsqueda
- $F: I \rightarrow \mathcal{R}$ , la función de calidad
- $\mu$ , el tamaño de la población de padres
- $\lambda$ , el tamaño de la población de descendientes
- $P(t) = \{a_1(t), \dots, a_\mu(t)\} \in I^\mu$ , la población en la generación  $t$
- $R: I^\mu \rightarrow I^\lambda$ , operador de recombinación
- $\Theta_r$ , parámetros de funcionamiento del operador  $r$
- $m: I^\lambda \rightarrow I^\lambda$ , operador de mutación
- $\Theta_m$ , parámetros de funcionamiento del operador  $m$
- $s: I^\lambda \rightarrow I^\mu$ , operador de selección
- $\Theta_s$ , parámetros de funcionamiento del operador  $s$
- $t$ , criterio de parada
- $\Theta_c$ , parámetros de funcionamiento del criterio de parada

Entonces:

- $t \leftarrow 0$
- $P(t) \leftarrow$  inicializar ( $\mu$ )
- $F(t) \leftarrow$  evaluar ( $P(t), \mu$ )
- Mientras ( $P(t), \Theta_c$ )  $\neq$  cierto, hacer
  - $P'(t) \leftarrow$  recombinar ( $P(t), \Theta_r$ )
  - $P''(t) \leftarrow$  mutar ( $P'(t), \Theta_m$ )
  - $F(t) \leftarrow$  evaluar ( $P''(t), \lambda$ )
  - $P(t+1) \leftarrow$  seleccionar ( $P''(t), F(t), \mu, \Theta_s$ )
  - $t \leftarrow t + 1$

Los valores de los genes de los individuos de la población inicial se generan aleatoriamente. Se calcula la calidad de los individuos de la población inicial. A partir de ese momento, el proceso evolutivo es un bucle en el cual se seleccionan los individuos a reproducirse siguiendo algún criterio relacionado con la calidad, se obtiene una población de hijos mediante el cruce y mutación de individuos, se evalúan los individuos de la nueva población, se seleccionan los individuos de la población de los padres a ser reemplazados y se funden ambas poblaciones.

Originalmente, los cromosomas estaban codificados en binario, es decir, cada gen era un 0 ó un 1. Posteriormente se han utilizado otras codificaciones como, por ejemplo, codificar cada gen como un número real.

El método original de selección de los individuos a reproducirse es la selección proporcional, también conocido como selección por "ruleta". Cada individuo tiene una probabilidad de ser seleccionado para reproducirse igual a su calidad dividida por la suma de las calidades de todos los individuos. Este método, en algunas ocasiones, tiene el problema de aplicar muy poca presión selectiva. Por ejemplo, si se desea hallar el valor de  $x$  que maximiza

$y=ax^2+b$  y  $b$  es muy grande, todos los individuos tendrán una calidad parecida y, por tanto, una probabilidad de reproducirse muy similar. Una forma de arreglar este problema es escalando las calidades. Sin embargo, puede existir el problema contrario. Si durante el proceso evolutivo aparece un individuo con mucha mayor calidad que el resto de los individuos, la población rápidamente convergerá hacia ese individuo, ya que su probabilidad de reproducirse es mucho mayor que la de los demás. Si ese individuo se correspondía con un máximo local, la evolución probablemente nunca llegue a la solución real.

Existen otros dos tipos de selección que pretenden arreglar este problema. Una es la selección por posición (3) en la que los individuos son ordenados por su calidad y su probabilidad de selección es una función de su posición en esa lista ordenada. Alterando dicha función se altera la presión selectiva. El otro tipo de selección es la selección por torneo (4), donde se escoge aleatoriamente un grupo de individuos y dentro de este grupo se selecciona para reproducirse aquel que tiene mayor calidad. Este proceso se repite hasta que se tienen todos los individuos que se necesitan para reproducirse. Cambiando el tamaño de ese grupo se altera la presión de selección: a mayor tamaño, mayor presión.

El cruce es el operador principal en los algoritmos genéticos. Consiste en escoger dos individuos, un punto de cruce, y crear dos individuos nuevos de tal forma que cada uno tenga los primeros  $n$  genes de un padre y los siguientes  $m-n$  genes del otro (siendo  $m$  la longitud total del cromosoma en genes). Existen otras variantes de cruce, usando, por ejemplo, dos o tres puntos de cruce en lugar de uno. Otra variante más consiste en que los descendientes se crean alternando los genes de los padres (cruce uniforme). La idea del operador cruce se basa en que, dados dos individuos con buena calidad pero por razones distintas (la buena calidad de los individuos viene dada por el valor de dos grupos de genes distintos en cada individuo), al cruzarse, el individuo resultante se quede con los genes que provocaban una buena calidad en ambos padres, dando lugar a un individuo todavía mejor. Esto evidentemente no se produce siempre, sino con una cierta probabilidad, pero cuanto mayor es la calidad de un individuo más veces se reproduce y, por tanto, mayor es la probabilidad de que la parte de su genoma causante de su buena calidad se mezcle con la parte correspondiente de otro individuo, dando lugar a individuos cada vez mejores, que tendrán una mayor probabilidad de reproducirse en posteriores generaciones, guiando así el proceso evolutivo.

Si la codificación es binaria, es decir, cada gen es un 0 ó un 1, la mutación consiste en cambiar el gen con una determinada probabilidad. Si la codificación es distinta se amplía la definición de forma que cada gen se cambia, también con una determinada probabilidad, por otro gen válido siguiendo una distribución uniforme. En este caso existen, sin embargo, otras posibilidades. Si los genes son números reales, es frecuente que la mutación consista en sumar o restar al valor del gen una cantidad aleatoria con una distribución distinta a la uniforme (una normal, por ejemplo). La mutación en los algoritmos genéticos es un medio de introducir variedad en la población y, por eso, la probabilidad de mutación suele ser baja. Habitualmente se escoge de tal manera que de media se produzca una mutación en cada cromosoma.

Para seleccionar los individuos a ser reemplazados también se tienen varias alternativas. Podemos reemplazar los peores individuos o reemplazar aleatoriamente. En el primer caso aceleramos el proceso evolutivo y perdemos variedad. En el segundo podemos perder, quizás para siempre, buenos individuos y frenar la convergencia o incluso impedirla.

### 3.2. Estrategias evolutivas

Las estrategias evolutivas, que fueron ideadas por Rechenberg (5) y Schwefel (6), se diferencian principalmente de los algoritmos genéticos en que el operador que guía el proceso evolutivo es la mutación y no el cruce. De hecho, en la propuesta inicial de estrategias evolutivas no existía el operador cruce,

y la generación de individuos nuevos consistía en sumar a cada individuo un vector aleatorio, cuyos valores, entre 0 y 1, seguían una distribución normal, multiplicado por un escalar mayor que 0 y comprobando si la calidad del nuevo individuo era mejor que la del individuo original. En caso afirmativo lo reemplazaba en la población y si no el individuo original pasaba a la siguiente generación.

Actualmente, se puede considerar que existen, básicamente, dos tipos de estrategias evolutivas. Las estrategias evolutivas  $(\mu+\lambda)$  donde  $\mu$  individuos generan  $\lambda$  hijos y se seleccionan para la siguiente generación los  $\mu$  mejores individuos del total  $\mu+\lambda$ , y las estrategias evolutivas  $(\mu,\lambda)$  donde  $\mu$  individuos generan  $\lambda$  hijos y se seleccionan para la siguiente generación los  $\mu$  mejores individuos de los  $\lambda$  hijos. En ambos casos, los  $\lambda$  hijos se generan mutando todos los genes de los cromosomas. Esa mutación consiste en sumar un valor a cada gen. El total de los valores sumados a los genes suele seguir una distribución de media cero. El valor máximo a sumar a los genes suele ser fijado por una regla o puede incluirse dentro del cromosoma como un gen más. Igualmente, dicho valor puede ser el mismo para todos los genes del cromosoma o puede haber varios valores para distintos grupos de genes.

### 3.3. Programación evolutiva

La programación evolutiva, originalmente definida por Fogel (7), fue planteada desde un principio, a diferencia de las otras técnicas evolutivas, como una alternativa a la inteligencia artificial clásica, una forma de obtener comportamientos inteligentes sin basarse en heurísticas.

Es similar a las estrategias evolutivas, pero hace hincapié en que lo realmente importante es el fenotipo (el controlador final y, por ende, el comportamiento) y no el genotipo (la codificación del individuo en el cromosoma). Así, los cromosomas son programas en un lenguaje de alto nivel, que describen un autómata de estados finitos (como era originalmente) o una red neuronal artificial. La mutación es más compleja que en los casos anteriores, y consiste en cambiar una sentencia o grupo de sentencias de ese lenguaje de alto nivel por otra sentencia o grupo de sentencias (que no tiene por qué ser de la misma longitud), comprobando que no se generan individuos imposibles, incorrectos sintácticamente o semánticamente. Por tanto, estamos hablando aquí de que, inevitablemente, los cromosomas van a ser de longitud variable.

Existe una variante, a caballo entre la programación evolutiva y los algoritmos genéticos, denominada programación genética, en la que los cromosomas son programas en un lenguaje de más bajo nivel y donde también existe el operador cruce, en el que dos programas se cruzan por un punto determinado, teniendo en cuenta que el intercambio de dos trozos de código de dos cromosomas debe resultar sintácticamente y semánticamente correcto.

### 3.4. Algoritmos macroevolutivos

Un algoritmo macroevolutivo es un tipo muy reciente de algoritmo evolutivo que fue presentado por Marin y Solé (8) en 1999. La diferencia fundamental de esta aproximación estriba en que mientras en los otros algoritmos evolutivos una población de individuos evoluciona mediante el principio de que cuanto mejor es un individuo más probabilidades tiene de reproducirse, en los algoritmos macroevolutivos se considera una nueva escala evolutiva, la de especies, y así un ecosistema formado por un conjunto de especies evoluciona mediante la extinción de las peores y la apropiación de su nicho ecológico por parte de especies nuevas. Aunque tanto en las implementaciones originales de los autores como en la realizada en este trabajo una especie está formada por un único individuo, es importante tener esta diferencia de concepto en mente porque es la base de los algoritmos macroevolutivos y representa una puerta abierta a que cada especie esté formada por varios individuos y evolucione independientemente.

El funcionamiento de los algoritmos macroevolutivos se presenta en el siguiente esquema:

- $\mathcal{R}^d$  el espacio de búsqueda
- $f: \mathcal{R}^d \rightarrow \mathcal{R}$ , la función de calidad
- $\{p_1, \dots, p_i\}$  la especie  $i$
- $W_{ij}$  la conexión entre la especie  $i$  y la  $j$
- $\rho_i$  el coeficiente de supervivencia para la especie  $i$
- $p_i$  es una especie con coeficiente de supervivencia  $\geq 0$
- $p_b$  es una especie generada aleatoriamente
- $\xi \in [0, 1]$  número aleatorio con distribución uniforme.
- $\zeta \in [-1, 1]$  número aleatorio con distribución uniforme.
- $\rho$  y  $\tau$  parámetros del algoritmo

Entonces:

$$\tau \leftarrow 0$$

Inicializar cada  $p_i$

Evaluar cada  $p_i$

Mientras no se cumpla el criterio de parada.

Calcular la matriz de conexiones  $W$ , donde:

$$W_{ij} = \begin{cases} \frac{f(p_i) - f(p_j)}{p_i - p_j}, & \text{si } |p_i - p_j| \neq 0 \\ 0, & \text{si } |p_i - p_j| = 0 \end{cases}$$

Calcular el coeficiente de supervivencia,

$$h_i(t) = \sum_{j=1}^p W_{ij}(t)$$

Calcular el estado,

$$S_i(t-1) = \begin{cases} 1, & \text{si } h_i(t) > 0 \\ 0, & \text{si } h_i(t) \leq 0 \end{cases}$$

Colonización,

$$p_i(t-1) = \begin{cases} p_i(t), & \text{si } S_i(t-1) = 1 \\ p_b(t) - \rho\lambda(p_b(t) - p_i(t)), & \text{si } S_i(t-1) = 0 \text{ y } \xi > \tau \\ p_{n_i}, & \text{si } S_i(t-1) = 0 \text{ y } \xi \leq \tau \end{cases}$$

$$t \leftarrow t + 1$$

Básicamente, se calcula una matriz de conexión, en la que cada elemento mide la diferencia de calidades entre dos especies ponderándola por la distancia en el espacio de soluciones que existe entre ellas, de forma que dicha diferencia de calidad es más importante cuanto más cerca están las especies en dicho espacio. Si la suma de todos los elementos de la matriz de conexión en los que interviene una especie es positiva (coeficiente de supervivencia positivo, según la definición de los autores), dicha especie sobrevive. En caso contrario, se extingue. Si sobrevive se mantiene tal cual en la siguiente generación. Si se extingue es sustituida por una nueva especie colonizadora que puede ser generada aleatoriamente o puede derivarse de la especie extinguida y de otra cualquiera que sobrevive.

Hay dos parámetros que determinan el funcionamiento del algoritmo macroevolutivo:  $\rho$ , que marca la distancia máxima que una nueva especie generada a partir de una extinta y una superviviente puede tener respecto a ésta última, y  $\tau$ , que controla el porcentaje de especies aleatorias que se generan en cada generación.

En definitiva,  $\rho$  determina cómo se lleva a cabo la explotación, es decir, cómo se realiza la búsqueda en las proximidades de individuos ya existentes. Cuánto más pequeño sea más cerca estarán las nuevas especies de las supervivientes y, por tanto, mayor será la presión evolutiva, puesto que más rápido se abandonarán las zonas del espacio de búsqueda con aparentemente peores especies.

Por su parte,  $\tau$  controla el balance entre explotación y exploración (búsqueda de nuevo material genético, nuevos individuos no necesari-

amente cerca, o incluso preferentemente alejados, de los ya existentes). Si  $\tau$  es muy grande se generarán muchas especies aleatoriamente y estaremos ante una evolución guiada por la exploración, lo cual es útil para buscar nuevo material genético. Si es muy pequeño se generarán pocas especies aleatoriamente y estaremos ante una evolución guiada por la explotación, lo que quiere decir que se realizará una búsqueda exhaustiva en las proximidades de los individuos ya existentes, a costa de no buscar nuevo material genético en zonas no exploradas. Lo habitual es que este parámetro actúe como una "temperatura" y decrezca con el tiempo, de forma que se empiecen generando muchos individuos aleatoriamente y, a medida que avanza el proceso evolutivo, cada vez se generen menos individuos aleatorios.

Una ventaja de los algoritmos macroevolutivos respecto a otros es que solamente hay dos parámetros que determinan su funcionamiento, con lo que ajustarlo a un problema determinado es mucho más fácil. Pensemos, por ejemplo, en los algoritmos genéticos, donde es necesario seleccionar el tipo de selección, el tipo de cruce, el tipo de mutación, la probabilidad con la que se realizan ambos operadores genéticos, el tipo de reemplazo, etc., y donde además muchos de estos factores tienen a su vez otros parámetros que ajustar.

La otra ventaja de los algoritmos macroevolutivos es su particular forma de realizar la búsqueda por el espacio de soluciones, dando la oportunidad a que se reproduzcan todas las especies antes de ser extinguidas, lo cual es muy útil en problemas propensos a caer en máximos locales. Esto se traduce en que el algoritmo, en líneas generales, tiene una menor presión evolutiva que los algoritmos genéticos o las estrategias evolutivas, ya que toda especie, antes de desaparecer, puede dejar descendencia en la población con mucha mayor probabilidad que en los otros algoritmos evolutivos. Además, al tener todas las especies supervivientes la misma probabilidad de ocupar el nicho dejado por las que se extinguen, no existe el problema del superindividuo. No sólo la presión es menor, sino que la dinámica de la evolución tiende a generar agrupamientos alrededor de las mejores especies, con lo que la explotación es también muy eficiente.

#### 4. Módulo de decodificación

Los algoritmos de optimización planteados utilizan la representación paramétrica de cada una de las alternativas planeadas. Sin embargo, los simuladores utilizan la discretización de las formas tridimensionales. Por este motivo se hace necesario el desarrollo de un módulo de decodificación que pase de la definición paramétrica de la alternativa a una estructura de malla tridimensional que pueda ser utilizada por el simulador hidrodinámico. Un procedimiento robusto para transformar la malla debe preservar, en la medida de lo posible, la homogeneidad de la misma. Un control necesario es verificar que el movimiento de los vértices no dé lugar, por ejemplo, a elementos degenerados como lo que se producirían con el colapso de dos de ellos o cuando un vértice traspase la cara opuesta. El método debe estar automatizado y poder realizarse sin la intervención directa del usuario. Otro de los requerimientos del proceso es que no debe ser muy costoso puesto que deberá hacerse varias veces para resolver el problema. En nuestro caso se trata de un dominio tridimensional en el que se encuentra una superficie del elemento a optimizar que va cambiando de posición y forma durante el proceso. En el mallado inicial de un modelo base se le introduce un movimiento o desplazamiento va a producir cambios tanto en los elementos que las contienen como en los elementos vecinos dentro del dominio.

Entre los numerosos métodos para modificación de la malla se ha elegido la resolución de una ecuación de Laplace en el dominio con condición de contorno Dirichlet homogénea en la frontera exterior y con valores prescritos por los desplazamientos sobre la carena. Esta técnica preserva la conectividad y orientación de la malla por lo que no es necesario realizar verificaciones adicionales. Además permite un control del usuario sobre la deformación de los elementos, imponiendo coeficientes de difusión variables,  $\lambda$ .

De este modo la ecuación para resolver el desplazamiento,  $d$ , de los nodos de la malla vendrá dada por:

$$\Delta \cdot \lambda \Delta d = 0$$

Fundamentalmente existen dos alternativas para definir el coeficiente de difusión:

- Proporcional a la distancia a la frontera que se desplaza, bien sea de forma lineal, cuadrática o exponencial.
- Proporcional a la densidad de energía de deformación en los elementos.

En los casos ensayados se ha optado por emplear un coeficiente de difusión cuadrático al proporcionar resultados adecuados con un bajo coste computacional.

En la puesta en marcha del método se ha observado que para un buen funcionamiento es necesario fraccionar el proceso de modificación de forma que no haya variaciones bruscas, desplazamientos de los nodos superiores al diámetro de los elementos.

## 5. Simulador hidrodinámico

Para realizar el trabajo de programación se ha optado por el uso de una biblioteca de módulos programados en C++ desarrollados siguiendo licencias GPL y con el código abierto OpenFOAM (*Open Field Operation and Manipulation*) ya que los requerimientos computacionales de los sistemas utilizados hace que no sea económicamente rentable la utilización de software comercial. Esta biblioteca permite discretizar y resolver sistemas de ecuaciones en derivadas parciales que modelan problemas de ingeniería: ecuaciones de Navier-Stokes, de Maxwell... Además incorpora utilidades de pre y post-procesado para la transformación de información, obtención de magnitudes derivadas y su visualización. Aunque OpenFOAM tiene módulos de mado, para las configuraciones más complejas se ha empleado el programa GMSH, que permite generar mallas tridimensionales con diversas geometrías.

Como los orígenes de OpenFOAM están vinculados a la mecánica de fluidos, discretiza las ecuaciones usando el método de volúmenes finitos. Está previsto para trabajar sobre mallas no estructuradas tridimensionales con elementos tetraédricos, hexaédricos y pentaédricos. Además, puede transformar la información y resolver sencillos problemas mediante elementos finitos. Esto resulta especialmente útil en algunos casos de sistemas de ecuaciones acopladas. Otra ventaja a la hora de resolver problemas de gran tamaño es que incorpora un procedimiento de paralelización automática de los algoritmos, que no necesita la intervención directa del usuario.

Al tratarse de un código completamente abierto permite la incorporación de nuevos módulos, lo que proporciona un entorno de trabajo flexible y cómodo que puede ser utilizado tanto por el usuario no iniciado en los métodos numéricos (que se limitaría a utilizar los programas de la biblioteca) como por el experto (que podría incorporar sus propios códigos de discretización, resolución y postprocesado).

### 5.1. Método de volúmenes finitos

El método de volúmenes finitos es una técnica de discretización de ecuaciones en derivadas parciales que permite resolverlas numéricamente incluso en regiones con geometrías muy complejas. Para ello se subdivide el dominio del modelo en volúmenes de control (en nuestro caso el volumen de control será construido a partir de mallas de tetraedros), se asigna un valor de la magnitud incógnita a cada uno de ellos y se escriben ecuaciones algebraicas que traducen aproximadamente los ecuaciones continuas del modelo.

Una de las ventajas de los métodos de volúmenes finitos es que, al usar una discretización directa de la forma integral de las leyes de conservación, se pueden garantizar las propiedades de conservación de masa, momento y energía en el problema discreto (9).

Comenzaremos dando unas ideas básicas del principio del método para una ecuación modelo. Siguiendo a Godlewski (10), consideremos la siguiente ecuación de conservación:

$$\frac{\partial u}{\partial t} + \Delta F(u) = 0 \text{ en } \Omega \times [0, T] \quad (1)$$

donde  $\Omega$  es un abierto de  $\mathbb{R}^n$  y las funciones

$$\begin{aligned} u: \Omega \times [0, T] &\rightarrow \mathbb{R}^n \\ F(u): \mathbb{R}^n &\rightarrow \mathbb{R}^n \end{aligned} \quad (2)$$

son suficientemente regulares. Integrando la ecuación anterior en el volumen de control,

$$\int_{\Omega} \left( \frac{\partial u}{\partial t} + \nabla \cdot F(u) \right) dw = 0 \quad (3)$$

y aplicando el teorema de Gauss resulta

$$\int_{\Omega} \frac{\partial u}{\partial t} dw + \int_{\partial \Omega} F(u) n_j ds = 0 \quad (4)$$

Siendo

$$\partial \Omega_j = \bigcup_{j=1}^m \Gamma_j^i \quad (5)$$

Con  $m_j$  el número de caras que componen la frontera de  $\Omega_j$  y  $\Gamma_j^i$  es la frontera común a las celdas  $\Omega_j$  y  $\Omega_k$ . Se obtiene:

$$\int_{\Omega_j} \frac{\partial u}{\partial t} dw + \sum_{j=1}^{m_j} \int_{\Gamma_j^i} F(u) n_j ds = 0 \quad (6)$$

donde  $n_j$  denota la normal a la cara  $\Gamma_j^i$  dirigida hacia el exterior de  $\Omega_j$ . Definiendo  $u_j$  como

$$u_j(t) = \frac{1}{|\Omega_j|} \int_{\Omega_j} u(x, t) dw \quad (7)$$

en donde  $|\Omega_j|$  es la medida de la celda  $\Omega_j$ , y puesto que ésta no cambia con el tiempo, se puede escribir de la forma

$$|\Omega_j| \int_{\Omega_j} \frac{1}{|\Omega_j|} \frac{\partial u}{\partial t} dw + \sum_{j=1}^{m_j} \int_{\Gamma_j^i} F(u) n_j ds = 0 \quad (8)$$

con lo que, introduciendo  $u_j$  se obtiene

$$|\Omega_j| \frac{\partial u_j}{\partial t} + \sum_{j=1}^{m_j} \int_{\Gamma_j^i} F(u) n_j ds = 0 \quad (9)$$

quedando por discretizar el término del flujo en la frontera. Numerosos esquemas de aproximación de ese término están descritos en la bibliografía. De manera general buscaremos un flujo numérico que en cada cara de la frontera,  $\Gamma_j^i$ , sea una aproximación del flujo físico, es decir,

$$\Phi(u_j, u_k, n_j) \approx F(u) n_j \quad (10)$$

construida con los valores  $u_j$  y  $u_k$  y verificando las siguientes propiedades:

#### 1. Consistencia

$$\Phi(u, u; n) = F(u) n_j \quad (11)$$

<sup>1</sup><http://www.openfd.com/openfoam>  
<sup>2</sup><http://genz.org/gmsh>

2. conservación (en ausencia de términos fuente)

$$\Phi(u_i, u_j; n_{ij}) = -\Phi(u_i, u_j; -n_{ij}) \quad (12)$$

Finalmente tendremos una expresión en la que intervendrán solamente los valores promedio en la celda  $\Omega_i$  y otros elementos relacionados con las características geométricas de las mallas

$$|\Omega_i| \frac{\partial u_i}{\partial t} + \sum_{j=1}^{m_i} |\Gamma_j^i| \Phi(u_i, u_j; n_{ij}) = 0 \quad (13)$$

Como ya se ha dicho, en la bibliografía se proponen diferentes expresiones para  $\Phi_{ij} = \Phi(u_i, u_j; n_{ij})$ . En nuestro caso se ha empleado una media ponderada de:

3. una aproximación centrada (CD),

$$\Phi_{ij}^{CD} = \alpha_{ij} F(u_j) n_{ij} + (1 - \alpha_{ij}) F(u_i) n_{ij} \quad (14)$$

con  $\alpha_{ij} = \frac{|x_j - x_{ij}|}{|d_j|}$  siendo  $x_{ij}$  el baricentro de la cara  $\Gamma_j^i$  y  $d_j = x_j - x_{ij}$ .

4. y una aproximación descentrada, *upwind*, (UD), en la que el valor  $\Phi_{ij}$  se calcula atendiendo a la dirección del flujo.

$$\Phi_{ij}^{UD} = \begin{cases} F(u_i) n_{ij} & \text{si } u_i \cdot n_{ij} > 0 \\ F(u_j) n_{ij} & \text{si } u_i \cdot n_{ij} \leq 0 \end{cases} \quad (15)$$

Dado un parámetro  $\eta \in [0, 1]$  se tomará como flujo numérico la media ponderada:

$$\Phi_{ij} = (1 - \eta) \Phi_{ij}^{UD} + \eta \Phi_{ij}^{CD} \quad (16)$$

#### Formulación conservativa de las ecuaciones de Navier-Stokes

Vamos a tratar de construir una formulación de las ecuaciones de Navier-Stokes incompresibles y estacionarias sin fuerzas exteriores, tomando la presión como dato, que encaje con la ecuación modelo. Consideremos el sistema:

$$\nabla \cdot (u \otimes pu) - \mu \nabla \cdot \nabla u = -\nabla p, \quad (17)$$

agrupando términos se obtiene que

$$\nabla \cdot (u \otimes pu - \mu \nabla u) = -\nabla p \quad (18)$$

Definiendo

$$F(u) = (u \otimes pu - \mu \nabla u) \quad (19)$$

el sistema se puede escribir

$$\nabla \cdot F(u) = -\nabla \cdot p I. \quad (20)$$

#### • Cálculo de la velocidad

Aun tomando la presión como dato, las ecuaciones de Navier-Stokes presentan dos dificultades: la primera es el carácter no lineal del término

$$\nabla \cdot (u \otimes pu) \quad (21)$$

y la segunda es que al discretizar espacialmente con técnicas de volúmenes finitos, las derivadas de las soluciones del problema discreto no pertenecen a los espacios funcionales usuales.

Por lo que se refiere al segundo problema, el cálculo del gradiente de una magnitud vectorial  $\theta$  definida constante por elemento se realiza mediante una aproximación de mínimos cuadrados (11). De este modo se obtiene

$$(\nabla \theta)^i = \sum_{j=1}^m \frac{1}{\|d_j\|^2} (G^j)^{-1} (\theta^j - \theta^i) \otimes d_j, \quad (22)$$

donde  $G^j$  es el tensor definido para cada celda

$$G^j = \sum_{i=1}^m \frac{1}{\|d_i\|^2} d_i \otimes d_i \quad (23)$$

de forma que  $G^j$  es una constante que sólo depende de la malla y que  $(\nabla \theta)^i$  es una relación lineal para los valores de  $\theta$ .

La primera dificultad se obviará mediante el uso de una técnica de punto fijo, más concretamente se emplea el siguiente algoritmo:

1. Dado un campo de velocidades inicial  $u^0$  y considerando el campo de presiones  $p$  constante.
2. para  $n=1, 2, \dots$

Se resuelve el problema lineal (no simétrico) con las condiciones de contorno adecuadas

$$\nabla \cdot F(u) = -\nabla \cdot p I. \quad (24)$$

3. Test de parada.

Este procedimiento reduce la no linealidad cuadrática a sucesivas resoluciones de problemas lineales. El problema anterior admite la formulación conservativa

$$\int_{\Omega} \nabla \cdot (u^{n-1} \otimes pu^n) dv - \int_{\Omega} \mu \nabla \cdot \nabla u^{n-1} = - \int_{\Omega} \nabla p \quad (25)$$

Aplicando la condición de incompresibilidad y el teorema de Gauss resulta:

$$\int_{\partial \Omega} (u^{n-1} \cdot n_i) pu^{n-1} ds - \int_{\partial \Omega} \mu \nabla u^{n-1} \cdot n_i ds = - \int_{\partial \Omega} p \quad (26)$$

Definiendo

$$F(u) = (u^{n-1} \cdot n_i) pu^{n-1} - \mu \nabla u^{n-1} \quad (27)$$

Aplicando formulaciones centrada y *upwind*

$$\Phi_{ij}^{UD} = \alpha_{ij} [(u^{n-1} \cdot n_{ij}) pu^{n-1} - \mu \nabla u^{n-1} \cdot n_{ij}] + (1 - \alpha_{ij}) [(u^{n-1} \cdot n_{ij}) pu^{n-1} - \mu \nabla u^{n-1} \cdot n_{ij}] \quad (28)$$

$$\alpha_{ij} = \frac{|x_j - x_{ij}|}{|d_j|}$$

$$\Phi_{ij}^{CD} = \frac{(u^{n-1} \cdot n_{ij})}{|u^{n-1} \cdot n_{ij}|} [(u^{n-1} \cdot n_{ij}) pu^{n-1} - \mu \nabla u^{n-1} \cdot n_{ij}] + \frac{(u^{n-1} \cdot n_{ij})}{|u^{n-1} \cdot n_{ij}|} [(u^{n-1} \cdot n_{ij}) pu^{n-1} - \mu \nabla u^{n-1} \cdot n_{ij}]$$

se tomará como flujo numérico en la cara común a las celdas  $\Omega_k$  y  $\Omega_l$ ,

$$\Phi_{kl} = (1 - \eta) (\Phi_{kl}^{UD}) + \eta \Phi_{kl}^{CD} \quad \eta \in [0, 1] \quad (29)$$

#### • Cálculo de la presión

Para el ajuste de la presión se ha optado por un algoritmo PISO (*Pressure Implicit Splitting of Operators*) propuesto por Issa (12) que también permite su empleo en procesos dependientes del tiempo. Tomando la divergencia de la ecuación del momento se obtiene

$$-\Delta p = \nabla \cdot \rho (\nabla \cdot (u \otimes u)) - \nabla \cdot \mu \Delta u \quad (30)$$

utilizando que los operadores divergencia y laplaciano conmutan y la ecuación de la continuidad, finalmente resulta

$$-\Delta p = \rho \nabla \cdot (\nabla \cdot (u \otimes u)). \quad (31)$$

De este modo, conocida la velocidad, se puede calcular la presión resolviendo una ecuación de Poisson. Esto sugiere la utilización de un método de punto fijo. El algoritmo sería el siguiente:

• Dada  $p^0$ , presión inicial,

• para  $m = 1, 2, \dots$

Cálculo de  $u^{m+1}$  como solución del algoritmo anterior.

$$\text{Cálculo de } S^{m+1} = \rho \nabla \cdot (\nabla \cdot (u^{m+1} \otimes u^{m+1})) \quad (32)$$

$$\text{Cálculo de la nueva presión } -\Delta p = S^{m+1} \quad (33)$$

Test de parada

## 6. Experimentos numéricos

Dos casos han sido probados usando este entorno de diseño, palas de aerogenerador y formas de popa de carena. El uso de técnicas evolutivas en un proceso de diseño automático, es determinar las condiciones reales del problema y los parámetros necesarios para definir a cada individuo.

En el primer problema test, el aerogenerador objetivo tiene un diámetro máximo de 5.5 m trabajando siguiendo una distribución de viento Weibull con una velocidad media de 7 m/s y un parámetro de forma de valor 2, en este caso se han utilizado perfiles NACA para la definición de los perfiles de las palas.

Cada pala es codificada en el proceso evolutivo mediante un cromosoma de 181 genes, seis para cada sección de las 30 que definen el perfil (cuatro para el perfil NACA, uno para el ángulo y uno para la cuerda) y uno adicional para la velocidad de rotación.

Puesto que los resultados de un procedimiento evolutivo no es totalmente determinístico, para poder extrapolar resultados de análisis para poder analizar los resultados. En la siguiente tabla se comparan los resultados con diferentes parámetros del algoritmo evolutivo.

| Generaciones | Individuos | Mejor individuo | Calidad media |
|--------------|------------|-----------------|---------------|
| 1.500        | 1.200      | 49.452,57       | 48.186,10     |
| 800          | 800        | 49.744,40       | 48.728,92     |

Estos problemas implican hipersuperficies de búsqueda muy complejas con gran número de óptimos locales dispersos rodeados por regiones de calidad baja. Así, si la región explorada es pequeña el procedimiento de búsqueda converge rápidamente al máximo local más cercano, así descuidando la búsqueda en el resto de las regiones y no explorando nuevas soluciones óptimas. Por esto es necesario buscar un equilibrio entre los elementos generados al azar y los generados de la combinación de individuos anteriores.

La siguiente figura muestra la forma de la mejor pala obtenida para las condiciones indicadas encima. Esta forma fue alcanzada en la 1.370 generación y su eficacia es del 79.4 %. El poder generado por esta lámina es muy cerca del grado óptimo para el caso en la consideración.

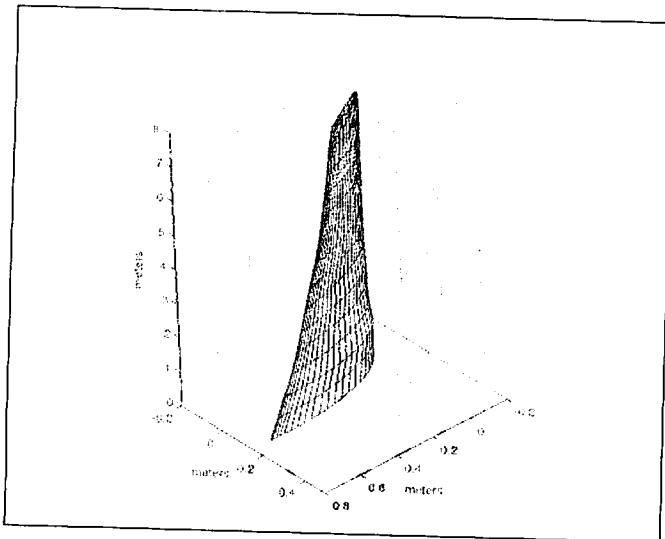


Ilustración 2. Diseño de la mejor pala alcanzada

El proceso de optimización aplicado a la optimización de las formas del casco por esta técnica evolutiva exige las cantidades sumamente grandes recursos computacionales. De hecho, el coste computacional del simulador hace necesario de reducir el número de evaluaciones en varios órdenes de magnitud para permitir alcanzar soluciones en tiempos de cálculo aceptables. Para el caso de la optimización de la forma de popa el proceso de optimización consiste en la introducción en pequeñas deformaciones a un diseño de casco anterior obtenido por métodos de diseño convencionales. Estas pequeñas deformaciones siguen una distribución de polinomio que conserva el volumen de casco. El objetivo de este proceso de optimización es mejorar la distribución de velocidad de flujo antes del propulsor. En este caso el valor de calidad es obtenido por una medida de la uniformidad de flujo en la región de propulsor tomada como la desviación estándar de la velocidad.

El proceso evolutivo fue realizado con una población de 15 individuos por 15 generaciones. El cromosoma codifica los coeficientes de la distribución de polinomio de las deformaciones del casco. La figura siguiente muestra el campo de presión inicial y final en el disco de propulsor. La mejora de la uniformidad puede ser observada en esta figura, y a pesar del número bajo de evaluaciones la distribución de presión alcanza aumentos la eficiencia del sistema propulsor del 3.5 %.

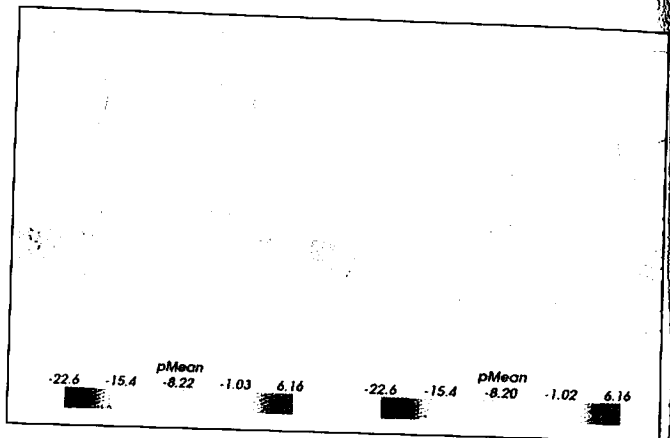


Ilustración 3. Distribución de presiones en la estela, inicial y final

Otra de las aplicaciones en las cuales se están desarrollando trabajos es la optimización de velas para navegación. En este caso la forma de la vela es definida como una NURBS (*non uniform rational bi-spline surface*) de tal modo que el proceso de optimización consiste en determinar la posición de los puntos de control que determinan la forma de la vela. De este modo se estudia el comportamiento aerodinámico de la vela de tal modo que se consiga adecuar la forma de la misma a los requerimientos planteados en el problema de optimización.

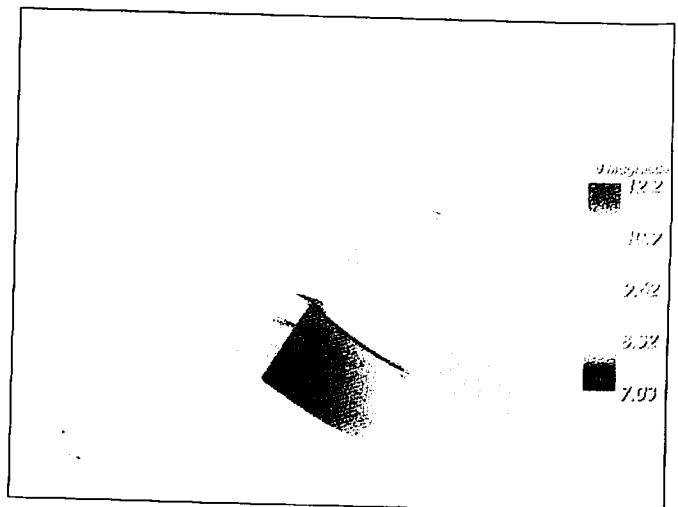


Ilustración 4. Líneas de corriente en torno a la vela

## Conclusiones

El desarrollo del sistema de diseño automático para velas ha implicado e impulsado la resolución de una serie de problemas técnicos y científicos que han permitido abrir la puerta a la adaptación de otras componentes y sistemas a este entorno mejorando sus prestaciones y posibles aplicaciones, incluso para el futuro alcanzando el diseño global de ciertos tipos de barcos. Para que esto pueda ser así se ha considerado de gran importancia avanzar en el estudio de la aplicación de técnicas como las planteadas en el proyecto de forma que los diseños, además de ser adecuados, permitan la interacción con los clientes y/o fabricantes adaptándose fácilmente a los gustos, costumbres y medios disponibles.

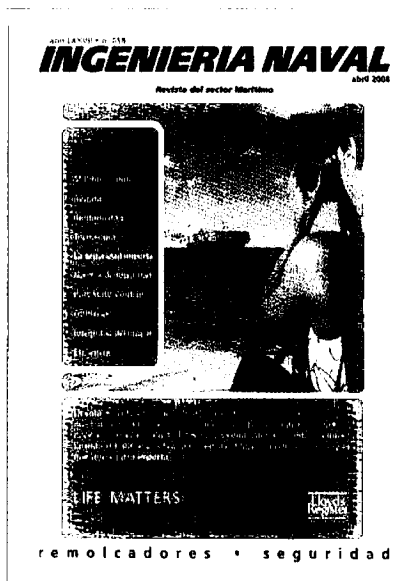
Respecto a los paquetes de trabajo que componen el proyecto global hay que destacar las contribuciones que significan el estudio y desarrollo de metodologías de simulación que, con el aporte necesario de técnicas experimentales, permiten tener en cuenta de forma eficiente las interacciones tridimensionales del fluido con las velas. Además, la aplicación de técnicas evolucionistas y de modelado basado en redes neuronales artificiales en un contexto complejo y real como el que se aborda en el presente proyecto, implican una novedad con sus modificaciones y avances en el conocimiento y aplicación práctica de estas técnicas, ya que la mayor parte de las publicaciones que aparecen en la literatura especializada se refieren muy mayoritariamente a análisis realizados sobre problemas simples.

Otro aspecto relevante del proyecto en el marco del diseño computacional y la simulación es la utilización en paralelo de técnicas experimentales y la aplicación directa al problema para el ajuste y validación del sistema global. Este enfoque resulta de importancia crucial desde un punto de vista de la calidad de los resultados.

## 8. Bibliografía

1. **Wiener, N.** *Cybernetics for Control and Communication in the Animal and the Machine*. s.l. : Wiley, 1948.
2. **Holland, J.** *Adaptation in Natural and Artificial Systems*. 1975.
3. *The Genitor Algorithm and Selection Pressure: Why Rank-based Allocation of Reproductive Trials is Best*. **Whitley, D.** : Proc. 3rd Int. Conf. on Genetic Algorithms. 116-121, 1989. . Vol. .
4. *A Comparative Analysis of Selection Schemes Used in Genetic Algorithms*. **Goldberg, D.E. y Deb, K.** Pp 69-93, s.l. : Foundations of Genetic Algorithms, 1991.
5. *Cybernetic Solution Path of an Experimental Problem*. . **Rechenberg, I.** Pp 1122, s.l. : Royal Aircraft Establishment Library Translation , 1965.
6. **Schewefel, H. P.** *Evolutionsstrategie und Numerische Optimierung*. s.l. : Technische Universität Berlin, 1975.
7. **Fogel, L. J.** *On the Organization of Intellect*. . University of California : s.n., 1964.
8. *Macroevolutionary Algorithms: A New Optimization Method on Fitness Landscapes*. **Marín, J. y Solé, R.V.** 1999. IEEE Transactions on Evolutionary Computation. Vols. 4 pp 272-286.
9. **Ferziger, J.H.** *Computational Methods for Fluid Dynamics*. s.l. : Springer, 2002.
10. **Godlewski, E. y Raviart, R.** *Numerical Approximation of Hyperbolic Systems of Conservation Laws*. s.l. : Springer, 1991.
11. *A finite volume least-squares method*. **Whitlow, D. y Chattot, J.J.** 4, pp. 392\_410, J. Comp. Fluid Dynamics : s.n., 2003. Vol. 11.
12. *Solution of the implicitly discretised fluid flow equations by operator-splitting*. **Issa, R.I.** s.l. : J. of Computational Physics, 1986.





**LLOYD'S REGISTER**

**9**



Construcción naval.  
Parece que el balón  
pierde presión ¿estamos  
ante un fin de ciclo?

**29**

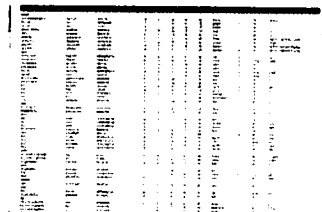
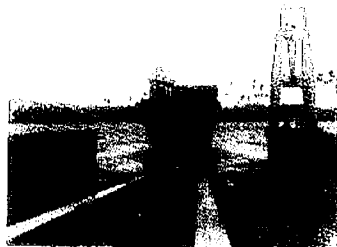


Tabla de los  
remolcadores que  
operan en España

**37**



Navantia bota el Juan  
Carlos I, el mayor buque  
de guerra español

**77**



Inauguración del museo  
de la construcción naval

año LXXVII • n° 858

# INGENIERIA NAVAL

abril 2008

|   |     |
|---|-----|
| posición de aine / <i>aine's position</i>                             | 6   |
| editorial / <i>editorial comment</i>                                  | 7   |
| sector marítimo. coyuntura /<br><i>shipping and shipbuilding news</i> | 9   |
| seguridad y salvamento / <i>safety and rescue</i>                     | 19  |
| remolcadores / <i>tugs</i>  | 27  |
| construcción naval / <i>shipbuilding</i>                              | 37  |
| avance de navalia / <i>navalia advance</i>                            | 43  |
| noticias / <i>news</i>  | 47  |
| las empresas informan / <i>companies' report</i>                      | 62  |
| propulsión / <i>propulsion</i>  | 63  |
| normativa / <i>rules</i>  | 68  |
| medio ambiente / <i>environmental news</i>                            | 70  |
| nuestras instituciones / <i>our institutions</i>                      | 71  |
| educación / <i>education</i>  | 79  |
| relatos / <i>stories</i>  | 82  |
| economía / <i>economics</i>   | 87  |
| nuevas tecnologías / <i>IT</i>  | 91  |
| congresos / <i>congresses</i>   | 95  |
| publicaciones / <i>books</i>  | 97  |
| hace 50 años / <i>50 years ago</i>                                    | 98  |
| artículos técnicos / <i>technical articles</i>                        | 100 |

- Algoritmos evolutivos y simulación numérica en problemas de optimización hidrodinámica, por V. Díaz, F. López, M. Miguez y R. J. Duro
- La industria auxiliar en el sector naval: situación actual y perspectivas de futuro, por L. Santos, J. Merino y D. Santos
- Schottel Propulsion solutions for all electric chips, por J. Müller

|                                 |     |
|---------------------------------|-----|
| agenda / <i>agenda</i>          | 117 |
| clasificados / <i>directory</i> | 120 |

próximo número / *coming issue*

Industria auxiliar / *auxiliary industry*  
Gobierno y maniobra / *steering and manœuvre*



## posición de la aine

En una revista especializada en el sector marítimo ha aparecido publicada en un remitido, una carta que Publio Beltrán me ha dirigido como Presidente de la AINE, carta relativa al Premio Internacional AINE-INNOVAMAR, cuya edición 2007 fue declarada desierta.

No es mi intención responder a los variados planteamientos de dicha carta. Entre otras cosas, he de mostrar mi extrañeza por su publicación, ya que siempre he entendido que cuando una persona escribe una carta a otra, el contenido de la carta queda como propiedad de quién la recibe, cualquiera que sea éste. Algunas veces se publica correspondencia entre dos personas cuando ambas han fallecido y su contenido pudiera ser interesante para potenciales lectores, pero afortunadamente, este no es el caso ni de Publio ni mío, en ninguno de los dos supuestos.

Tampoco es el estilo ni la vocación de la AINE entrar en polémicas estériles, y particularmente en un caso como éste, sobre decisiones tomadas por el Comité del Premio, formado por un grupo de personas independientes de diversas profesiones y de prestigio dentro de sus respectivos ámbitos de actuación. Personas en las que tanto AINE como INNOVAMAR han depositado su confianza, confianza que hoy mantenemos.

Según las Bases del citado Premio, aceptadas por todos los que presentaron trabajos al mismo, las razones por las que un trabajo podía resultar no seleccionado eran:

- El incumplimiento de las Bases o Normas exigidas para la presentación.
- No tener la altura técnica requerida a juicio del Comité de selección.

Debe quedar claro que la única razón por la que el trabajo de Publio no fue seleccionado, consistió en su incumplimiento de las Bases del Premio. El trabajo resultó no ser inédito al haber sido entregado para su publicación en la RIN un resumen el 22 de mayo de 2007, y un artículo completo equivalente a la totalidad del trabajo, el 17 de julio del mismo año (la separata que lo incluía fue publicada el 11 de septiembre de 2007). El trabajo de Publio Beltrán para el Premio fue recibido por la secretaría del Premio el 18 de

Octubre de 2007, trece días antes de la fecha límite de recepción.

La observancia de las Normas es condición absolutamente necesaria para mantener la honorabilidad y rectitud de comportamiento de cualquier institución, y constituye la debida expresión de respeto hacia sus miembros y en general hacia las personas e instituciones que con ella se relacionan, y en estas premisas descansa el comportamiento de la AINE.

Es por esto que debo afirmar que no asiste la razón a Publio Beltrán en su carta ya que la no selección de su trabajo no se debió en absoluto a falta de calidad o altura técnica, calidad y altura técnica que la trayectoria profesional de Publio Beltrán avala y de la que nadie duda, empezando por mí mismo, y por la AINE, como ya se ha demostrado. Publio Beltrán tiene todas mis consideraciones personales y mis mejores deseos en su devenir profesional. Deseo que se hace extensivo a todas las personas y firmas que han colaborado con él.

Lo que ha sucedido, simplemente, es que la presentación del trabajo no cumplió con las Bases del Premio, Bases que se interpretan directamente y sin dificultad, siendo responsabilidad única del que presenta el trabajo el cumplimiento de las mismas.

Aunque la línea editorial, la seriedad técnica y la política de contenidos de esta revista están lejos de incluir temas como el que nos ocupa, es la debida defensa de la honorabilidad de nuestra Asociación, el respeto hacia los componentes del Comité de selección del Premio y hacia INNOVAMAR, Fundación que colabora ampliamente con la AINE y dota este Premio, lo que me ha obligado a publicar esta nota en nuestro órgano de expresión.

La AINE seguirá trabajando en su línea para incrementar el prestigio de la profesión y creyendo en el sano impulso de todos para conseguirlo como lo demuestran el conjunto de sus actividades, y entre ellas la convocatoria de la edición 2008 del Premio Internacional AINE-INNOVAMAR.

José-Esteban Pérez  
Presidente de AINE

año LXXVII - N.º 858  
**INGENIERIA NAVAL**  
abril 2008

Revista editada por la Asociación de Ingenieros Navales y Oceánicos de España.  
Fundada en 1929  
por Aureo Fernández Avila I.N.



Presidente de AINE y de la Comisión de la Revista  
José Esteban Pérez García, I.N.

Vocales de la Comisión de la Revista  
José Ignacio de Ramón Martínez, Dr. I.N. (Secretario)  
M.ª Jesús Puzas Dacosta, Dr. I.N.  
Manrique Miguel Álvarez-Acevedo Alonso, I.N.

Directora  
Belén García de Pablos, I.N.

Asesores  
Sebastián Martos Ramos, I.N.

Redacción  
Verónica Abad Soto  
Beatriz Calvo Mascarell

Publicidad  
Dirección Comercial Baupress, S.L.  
Rafael Crespo Fortún  
Tel. 91 510 20 59/609 11 73 40  
Fax: 91 510 22 79

Dirección  
Castelló, 66  
28001 Madrid  
Tel. 91 575 10 24 - 91 577 16 78  
Fax 91 781 25 10  
e-mail: rin@ies.es  
<http://www.ingenierianaval.eu>

Diseño y Producción  
MATIZ Imagen y Comunicación, S.L.  
Tel. 91 446 24 42 - Fax 91 593 34 24

| Suscripción Anual/Subscription Costs |          |
|--------------------------------------|----------|
| España                               | 70,00 €  |
| Portugal                             | 100,00 € |
| Europa                               | 115,00 € |
| Resto del mundo                      | 138,00 € |
| Estudiantes España                   | 35,00 €  |
| Estudiantes resto del mundo          | 95 €     |
| Precio del ejemplar                  | 7 €      |

### Notas:

No se devuelven los originales. La Revista de Ingeniería Naval es una publicación plural, por lo que no necesariamente comparte las opiniones vertidas por sus colaboradores en los artículos, trabajos, cartas y colaboraciones publicados, ni se identifica con ellos, y sin que esta Revista, por su publicación, se haga en ningún caso responsable de aquellas opiniones. Los firmantes de los artículos, trabajos, cartas y colaboraciones publicados son autores independientes y los únicos responsables de sus contenidos.

Se permite la reproducción de nuestros artículos indicando su procedencia.

Publicación mensual  
ISSN: 0020-1073

Depósito Legal: M 51 - 1958

Publicación controlada por la OJD

