

PRESENTACIÓN

“Nihil Intentatum” (Nada sin intentar)

Los Cuadernos de Facultad representan para la Facultad de Ingeniería e Informática de la UCASAL, la concreción de un ansiado anhelo en el camino de aseguramiento de la calidad, la búsqueda de la excelencia académica, y la permanente promoción de las actividades de nuestros docentes y alumnos.

El hecho de publicar estos aportes tiene el sentido de ofrecer a toda la comunidad universitaria un poco de lo mucho que nuestros docentes y alumnos generan día a día y que consideramos merece ser difundido y, sobre todo, compartido para bien de todos.¹

Resulta sumamente grato ofrecer a la comunidad académica la tercera edición de los Cuadernos de la Facultad de Ingeniería e Informática.

En este volumen encontramos una síntesis de los conceptos involucrados en el proyecto de fundaciones constituidas por una combinación de platea con pilotes y los diferentes enfoques para su análisis que se han divulgado en los últimos años, preparada por el Ing. Roberto O. Cudmani.

El caminar por senderos que promueven la investigación, ha permitido contar en el volumen anterior de estos cuadernos con la primera parte del artículo sobre el potencial destructivo de los sismos, escrito por la Dra. Lía Orosco y la Ing. Isabel Alfaro Villegas. Continuando con este artículo, las autoras hacen una revisión de parámetros propuestos para evaluar la capacidad de daño de los sismos.

La Ing. en Informática Verónica Venturini indaga en las fronteras de la computación convencional y su evolución hacia la inteligencia artificial.

¹ Prólogo del primer número de estos Cuadernos.

La participación en un proyecto de investigación ha sido el disparador para que el Ing. Gustavo Rivadera escribiera el artículo que trata sobre el paradigma de programación que se denomina funcional.

Por último, la inquietud sobre los valores éticos y humanos en la carrera de ingeniería civil fue la base de la investigación realizada por el Ing. Eduardo Nelson para su tesis de Maestría en Educación.

Agradecemos a todos los autores su colaboración y el generoso aporte de conocimientos puesto de manifiesto en estos Cuadernos.

En el día de Santa Teresa de Jesús, 15 de octubre de 2008

Ing. Claudio Mondada

Fundaciones Combinadas de Platea y Pilotaje

Roberto O. Cudmani¹

rcudmani@arnet.com.ar

Resumen

Fundaciones constituidas por una combinación de platea con pilotes constituyen una alternativa respecto a las fundaciones puramente superficiales o profundas. A pesar de que esta variante viene usándose en nuestro medio con cierta frecuencia, en la mayoría de los casos su proyecto se apoya en la intuición y experiencia del ingeniero más que en un análisis debidamente fundamentado. Se trata de un tema que en las últimas décadas ha captado el interés de los ingenieros, geotécnicos y estructuralistas, habiéndose generado un considerable avance en el entendimiento del comportamiento del suelo y su interacción con los elementos que conforman tales fundaciones.

En esta contribución, el autor presenta una síntesis de los más importantes conceptos involucrados en este tipo de fundación y de los diferentes enfoques para el análisis – simplificados o elaborados – que se han divulgado en los últimos años.

Palabras Claves: pilotes, platea, asentamiento, capacidad portante

1. Introducción

La estructuración de una fundación en base a la combinación de una platea superficial con pilotaje constituye un sistema constructivo caracterizado por la acción conjunta de ambos elementos – platea y

¹ Roberto O. Cudmani es Ingeniero en Construcciones e Ingeniero Civil, posgraduado con el Diplom of The Imperial College (Inglaterra). Fue becario de la Alexander von Humboldt Stiftung en tres ocasiones para realizar investigaciones en las Universidades de Munich y Karlsruhe (Alemania). Es Profesor Titular de la Universidad Católica de Salta y de la Universidad Nacional de Tucumán.

pilotes – con la función de transmitir al terreno las cargas de la superestructura que se ha de fundar.

En las últimas décadas son numerosas las investigaciones y desarrollos conceptuales que han conducido a mejorar el conocimiento del comportamiento conjunto de platea y pilotes, y que hacen de este sistema constructivo una alternativa de fundación asociada en general a edificios en altura fundados sobre suelos granulares y en particular sobre suelos arcillosos en estado normalmente consolidados - o mejor aún – sobreconsolidados. Independientemente del tipo de suelo, la aplicación del sistema platea-pilotes puede ser ventajosa cuando en una fundación basada sólo en pilotes el número de éstos aumenta y la distancia entre ellos se reduce. En una fundación profunda convencional, la capacidad portante de los pilotes en el grupo debe ser reducida cuando la distancia entre pilotes disminuye a valores menores que aproximadamente tres o cuatro veces su diámetro. La eficiencia del grupo de pilotes, que es el cociente entre la capacidad portante del pilote aislado y la del pilote en el grupo, puede alcanzar valores de hasta 0.7 para una distancia entre los pilotes de dos veces su diámetro. Ello implica un aumento de la longitud de los pilotes y por ende, de los costos de la fundación.

El análisis de la interacción entre los tres elementos – platea, pilotes y suelo – es de primordial importancia para la evaluación de los asentamientos del conjunto, sean uniformes o diferenciales. A su vez, una acertada predicción de los asentamientos es indispensable para verificar que los requerimientos en el estado de servicio se vean cumplidos. Resumidamente, la platea y los pilotes son responsables de transferir las cargas actuantes al terreno, activando la capacidad portante de las distintas capas de este último.

Además de conducir a la reducción de los asentamientos, pueden mencionarse efectos positivos adicionales de la combinación platea-pilotes - en adelante simbolizada mediante la sigla CPP – respecto a una platea de fundación única, a saber:

- Aumento de la capacidad portante de la fundación.
- Limitación de la descarga del suelo durante la ejecución de la excavación, debido a que los pilotes, que en esta etapa trabajan a tracción, previenen la liberación de tensiones en el mismo. Ello evita levantamientos excesivos de la base de la

excavación, y asentamientos fuera de la excavación asociados a los primeros.

- Reducción de las tensiones transmitidas al suelo a través de la platea de fundación mediante una adecuada elección del número y disposición de los pilotes.
- Mejora del comportamiento en servicio mediante la reducción de los asentamientos individuales o diferenciales. En otras palabras, la CPP actúa como un *freno de los asentamientos*.
- Reducción del riesgo de fallas o fisuras en elementos de la superestructura, en particular las fachadas de los edificios.
- Se asegura la estabilidad de la fundación completa, ya que la platea por sí sola no garantiza la estabilidad respecto a las cargas actuantes.
- Implementación de un bloque excéntrico que impide el volcamiento en el caso de cargas actuantes excéntricas, mediante un arreglo asimétrico de los pilotes.

Según la norma DIN 1054 (1987), el proyecto de una CPP se basaba en la idea de absorber la carga total mediante el pilotaje, despreciando la capacidad portante de la platea de fundación. Es evidente que tener en cuenta esta última colaboración conducirá a proyectos más económicos, posibilitando la disminución del número de pilotes y asegurando al mismo tiempo asentamientos dentro de límites tolerables.

A manera de ejemplo, se incluye en Fig.1 un diagrama cuantitativo presentado por Mossallamy (1996), que pone de manifiesto un probable incremento de la capacidad portante de una CPP en comparación con la platea o el pilotaje únicos, para un mismo asentamiento final de 100 mm. Puede observarse que los pilotes absorben alrededor de un 50% de la carga efectiva, y el resto es tomado por la platea.

A pesar que el comportamiento de la CPP está siendo seguido e investigado desde hace algunas décadas, el mecanismo de distribución de las cargas exteriores, como asimismo el comportamiento bajo carga-asentamiento, no son aún suficientemente discernidos, lo que debe atribuirse a la compleja interacción de sus elementos. En principio, el análisis de una CPP debe conducir a los siguientes resultados:

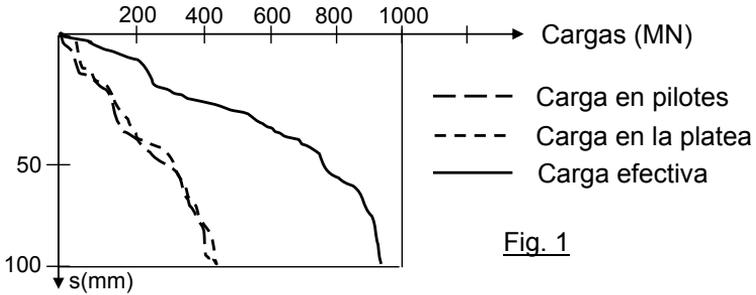


Fig. 1

- Los asentamientos máximos absolutos o diferenciales.
- La distribución de las cargas exteriores entre la platea y el pilotaje
- La repartición de la carga del pilotaje entre los diferentes pilotes.
- Las tensiones del suelo bajo la platea.

La Fig.2 muestra en forma cualitativa, siguiendo a Katzenbach (1993), la disminución de los asentamientos de una fundación con platea única cuando se adiciona el pilotaje.

Los factores más importantes que intervienen en el comportamiento carga-asentamiento de una CPP son:

- La interacción entre los pilotes de un grupo
- El efecto recíproco entre los pilotes y la platea

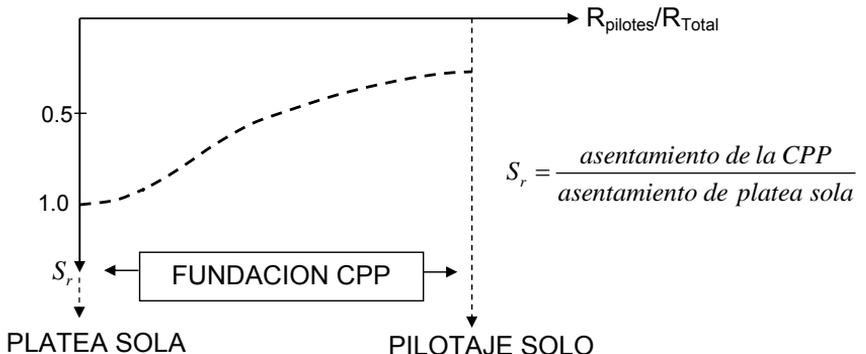


Fig. 2

La Fig. 3 representa esquemáticamente la relación carga-asentamiento de un pilote individual, de un pilote de un grupo y de una CPP. Las interacciones entre los pilotes de un grupo y de los pilotes con la platea conducen por una parte a la disminución la rigidez de los pilotes en relación a su comportamiento carga-asentamiento, y por otra parte aumentan su carga portante límite. Se trata de un hecho similar al de una fundación con platea, caso en que las fundaciones vecinas experimentan mayores asentamientos pero acusan mayor capacidad portante límite.

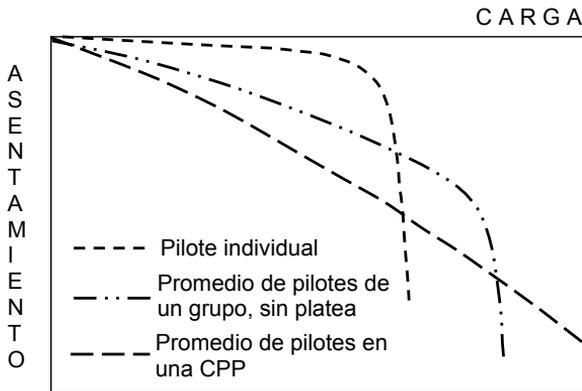
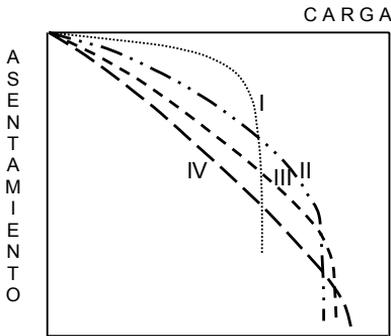


Fig. 3

La repartición de las cargas entre los pilotes de un grupo de una CPP no es en general constante y es función de la rigidez de la platea de fundación, de las dimensiones de los pilotes, de la configuración del grupo de pilotes y de la posición de cada pilote, como también de la magnitud y distribución de las cargas actuantes sobre la CPP y del suelo. En la Fig. 4 se presenta gráficamente una comparación de la carga en los distintos pilotes, referida al pilote individual. Como se observa en la misma, la capacidad portante límite promedio de los pilotes en una CPP – condicionada por las presiones del suelo bajo la platea – es mayor que en un pilote individual, hecho que fue verificado en mediciones realizadas in situ. Por otro lado, el desplazamiento requerido para movilizar una determinada resistencia es menor en el pilote individual que en los pilotes en una CPP.



- I : Pilote individual para comparación
- II: Pilote de esquina en una CPP
- III: Pilote de borde en una CPP
- IV: Pilote del centro en una CPP

Fig. 4

2. Modo de Acción y Transferencia de la Carga Exterior

Como se observa en Fig. 5, la capacidad portante de una CPP está generada por la interacción mutua de platea, pilotes y suelo. Dicha interacción se presenta en cuatro formas distintas, que se comentarán en detalle más adelante:

- Entre la platea y el suelo
- Entre los pilotes y el suelo
- Entre la platea y los pilotes
- Entre cada pilote con los restantes pilotes del grupo

La platea de fundación, debido a su rigidez flexional, distribuye la totalidad de las cargas de la superestructura, una parte directamente al suelo a través de la integral R_{platea} de las tensiones $\sigma(x,y)$, y otra parte solicitando a los pilotes, que en base a su resistencia lateral y de punta colaboran en transmitir a capas más profundas del suelo dicha parte restante de la carga exterior, con la consiguiente disminución de los asentamientos.

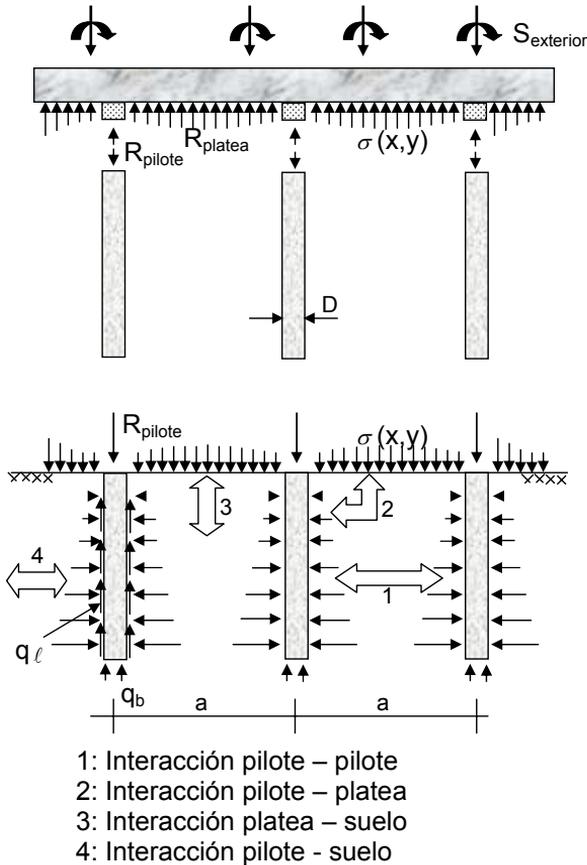


Fig. 5

Puede escribirse entonces:

$$S_{\text{exterior}} = R_{\text{total}} = \sum_{j=1}^n R_{\text{pilote},j} + R_{\text{platea}} \quad (1)$$

Denominando $q^{\ell}(z)$ a la tensión de rozamiento entre la superficie lateral del pilote y el suelo a la altura z medida desde la superficie, la fuerza resultante que transmite cada pilote por resistencia lateral es:

$$R_{\ell} = \int q^{\ell}(z) \pi D dz \quad (2)$$

Y la resistencia de punta generada por el área de la base del pilote es:

$$R_b = 0.25 q_b \pi D^2 \quad (3)$$

Siendo q_b la presión ejercida por el pilote en su base. Por lo tanto:

$$R_{pilote,j} = R_{\ell,j} + R_{b,j} \quad (4)$$

El comportamiento de una CPP suele definirse en función de un coeficiente α , que es la relación entre la fuerza absorbida por los pilotes y la fuerza total que absorbe la CPP:

$$\alpha = \frac{\sum_{j=1}^n R_{pilote,j}}{R_{total}} = \frac{\sum_{j=1}^n R_{pilote,j}}{R_{platea} + \sum_{j=1}^n R_{pilote,j}} \quad (5)$$

Teóricamente, el valor de α varía entre 0 y 1. El primer valor corresponde al caso que toda la carga sea absorbida por la platea y el último valor al caso que solo trabajen los pilotes. Por lo general, en una CPP, α está comprendido entre **0.3** y **0.8**.

En la actualidad se cuenta con información suficiente para estimar el comportamiento de una CPP: seguimiento de obras ejecutadas, investigación en base a modelos de laboratorio, ensayos de campo, comparaciones analíticas y cálculos numéricos. Cabe señalar que el logro de un proyecto confiable y seguro de una CPP depende fundamentalmente del conocimiento del suelo de fundación, lo que se logra tanto en laboratorio como en el campo según la práctica geotécnica corriente.

La CPP es particularmente efectiva cuando la rigidez del suelo de fundación se incrementa con la profundidad, lo que se verifica a menudo en la práctica. En estos casos, gran parte de los asentamientos se producen en el tercio superior de la CPP, donde las presiones en el terreno son mayores (Fig. 6).

Los asentamientos de una CPP están representados por la integral de las tensiones en el terreno divididas por el módulo de rigidez del mismo. En la parte superior, inmediatamente bajo la platea, las tensiones en el suelo son altas y se dividen por un módulo

relativamente bajo, por lo cual en estas capas se verificará una buena parte de los asentamientos, Fig. 6, habiéndose verificado en algunos casos que en el tercio superior de la altura total se origina hasta un 70% de los asentamientos totales. Si a medida que se profundiza en el terreno aumenta el módulo de rigidez y se reducen las tensiones - lo cual es corriente en suelos cohesivos normalmente consolidados - se reducirán obviamente los asentamientos de la CPP.

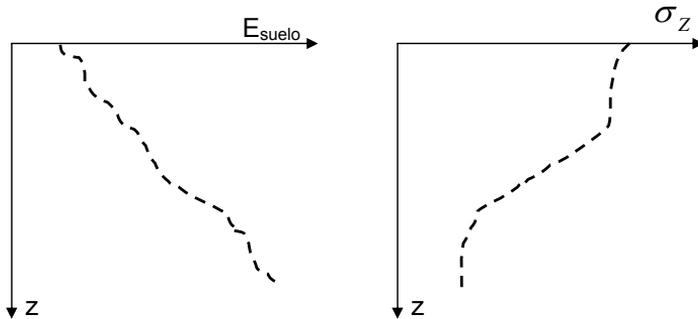
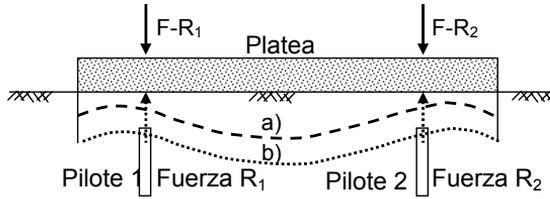


Fig. 6

Por mediciones efectuadas in situ, se conoce que el coeficiente α varía durante la construcción y aumenta su valor a medida que tienen lugar los asentamientos. Ello hace más laboriosa la determinación de dicho coeficiente, no existiendo métodos estandarizados simples para dimensionar una fundación CPP. En las primeras aplicaciones de este tipo de fundación se solía considerar a los pilotes como apoyos de la platea, independientemente de los asentamientos, ubicando los mismos en correspondencia con las cargas exteriores. Como se indica en la Fig. 7, la platea de fundación resulta solicitada por las cargas exteriores F reducidas por las reacciones de ambos pilotes, con lo cual las tensiones del terreno sobre dicha platea se ven asimismo reducidas. Al no tener en cuenta los asentamientos, es obvio que este método implica una aproximación grosera.



- a) Presión de contacto en la placa con pilotes
- b) Presión de contacto en la placa sin pilotes

Fig. 7

3. Interacción entre el Suelo y los Elementos de la CPP

Los problemas de interacción señalados en la Fig. 5 están particularmente ligados a los efectos del suelo sobre la CPP.

3.1. Interacción del suelo sobre los pilotes

La resistencia lateral de los pilotes depende fundamentalmente de la resistencia al corte en la superficie de contacto entre el fuste y el suelo. Básicamente, bajo condiciones de carga lenta (drenadas), la resistencia lateral está determinada por la magnitud de las tensiones normales del suelo a lo largo del fuste y por el coeficiente de fricción entre el suelo y el material del pilote (acero, hormigón, madera). Si se trata de un único pilote, su comportamiento depende del estado de tensiones primario del suelo y de los cambios de tales tensiones durante y después de la construcción del pilote. Si ahora se analiza un pilote de una fundación CPP, la presencia de los pilotes vecinos y de la platea influyen adicionalmente el nivel de tensiones del suelo que rodea al pilote en cuestión, y por lo tanto el comportamiento del mismo.

Katzenbach et al. (2002) han analizado numéricamente la resistencia de fuste de tres pilotes iguales, pero de diferente longitud: 15, 30 y 45 metros, con diámetro $D = 1.50$ m, en un suelo saturado de agua. Los resultados mostraron que con el aumento de la longitud se incrementa proporcionalmente la fricción lateral, Fig.8, lo cual debe atribuirse a que las tensiones propias del suelo aumentan linealmente con la profundidad, Fig.9. En consecuencia, puede inferirse que el uso de pilotes cortos provee un límite inferior para su resistencia, en comparación con el caso de pilotes largos.

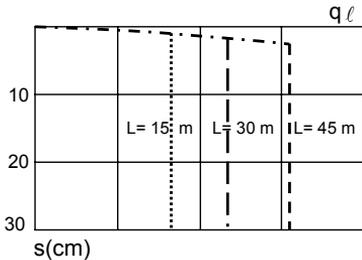


Fig. 8 Fricción lateral a lo largo del pilote en función del asentamiento

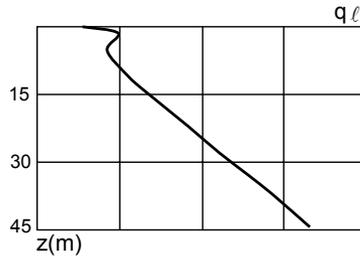


Fig. 9 Aumento de la fricción lateral para $s=0.1D$ en función de la profundidad

En otro estudio numérico realizado con dos pilotes de 30 m de largo y 1.5 m de diámetro, perforados en el mismo suelo anterior, uno desde la superficie y el otro a 20 metros de profundidad, se comprobó que el primero de ellos poseía una resistencia de fuste menor a la del más profundo, conclusión que ya era conocida de los ensayos de carga de pilotes. Las más altas tensiones normales del suelo sobre el pilote localizado a 20 m de profundidad conducen en este caso a una mayor capacidad portante del mismo.

Por lo general, la resistencia lateral no es activada en forma uniforme en toda la longitud de los pilotes, resultando una distribución de tensiones de corte no lineal. En el caso de una CPP, la resistencia lateral es máxima cerca de la punta del pilote y se activa más rápidamente, de manera que la resistencia lateral en esta región gobierna el diseño estructural de los mismos.

Finalmente, cabe acotar que los métodos de cálculo de una CPP basados en la curva resistencia-asentamiento de un pilote único resultan incorrectos y pueden conducir a una estimación de la resistencia del grupo de pilotes inferior a la real, debido a la interacción de los pilotes con la platea.

3.2. Interacción pilotes-platea

La influencia del efecto recíproco entre pilotes y platea en el comportamiento de ambos elementos de una fundación CPP se estudió numéricamente en base a modelos simplificados, tal como el representado en la Fig.10. (Katzenbach et al, 2002)

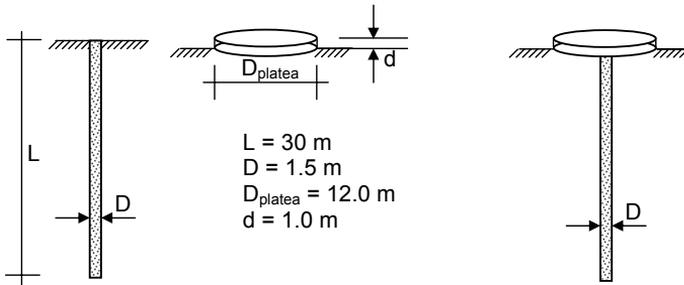


Fig. 10

Se trató en este modelo de una fundación CPP que consta de una platea circular y de un pilote único centrado con la platea, con las dimensiones indicadas en la figura.

En la Fig.11 se graficaron la fuerza normal y la fricción lateral a lo largo de la longitud del pilote en función de la profundidad, para tres valores de asentamientos en la cabeza del pilote: $0.005 D$, $0.01D$ y $0.1 D$, siendo D el diámetro del mismo. La generación de la fricción lateral a lo largo de un pilote individual se produce debido a los desplazamientos relativos entre el fuste elástico del pilote y el suelo circundante y por las tensiones primarias del suelo actuando sobre el mismo, las cuales crecen con la profundidad. Partiendo de la cabeza del pilote y con asentamientos crecientes, surge un efecto de corte en la superficie lateral del pilote, de manera que la fricción lateral puede llegar a ser movilizadada hasta su valor límite, creciendo casi linealmente con la profundidad. Esta falla en la superficie lateral de un pilote, así determinada numéricamente, fue confirmada asimismo por Poulus y Davis (1980) en diversos ensayos de carga de pilotes individuales. Sin embargo, se determinó que en los pilotes de una CPP tales cortes no se producen a lo largo de los pilotes, y por lo tanto la resistencia lateral última no es movilizadada.

En el pilote del modelo de Fig.10 la activación de la fricción lateral no se produce solamente por las tensiones primarias del suelo actuando sobre el mismo, sino también por la influencia de la carga transmitida al suelo por la platea, que aumenta el nivel de tensiones en el suelo. En efecto, el incremento de las tensiones verticales bajo la platea, que dependen de los asentamientos de la misma, genera un aumento considerable de las tensiones normales al fuste y por lo tanto de las tensiones de resistencia lateral del pilote. En el estudio numérico,

esta influencia de la platea se hace sentir hasta una profundidad de aproximadamente 1.5 veces su diámetro.

A su vez, la influencia del pilote afecta el comportamiento de la platea, de tal manera que se reducen las tensiones normales verticales bajo la misma, sobre todo en las cercanías del fuste, Fig.12.

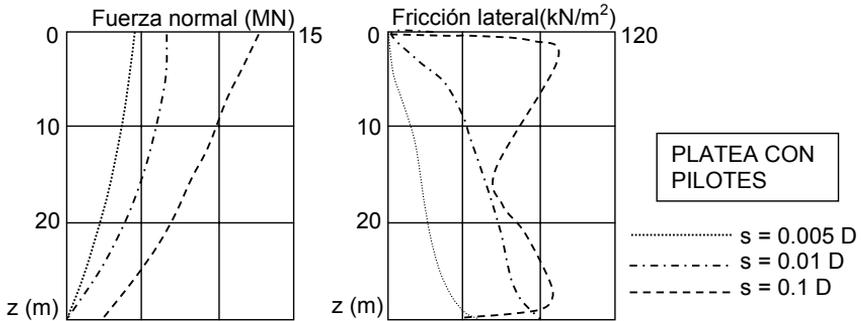


Fig.11

3.2.- Interacción pilotes-pilotes y pilotes-platea

El comportamiento de una fundación CPP es influenciado por la interacción pilotes-platea, pero además por la acción recíproca entre los pilotes del grupo. Esta interacción fue estudiada numéricamente por Katzenbach et al. (2002) en base a una comparación entre una fundación con platea única, una fundación con pilotes solamente y una fundación CPP. La investigación se basó en la fundación cuyos datos se presentan en Fig.13, con el parámetro adimensional distancia entre pilotes sobre diámetro de los mismos: $e/D = 3$ ó $e/D = 6$ con $D =$ constante $=1.50$ m, con $L/D = 20$, siendo $L = 30$ m la longitud de los pilotes. Además de variar la distancia e , se hizo variar el número de pilotes n .

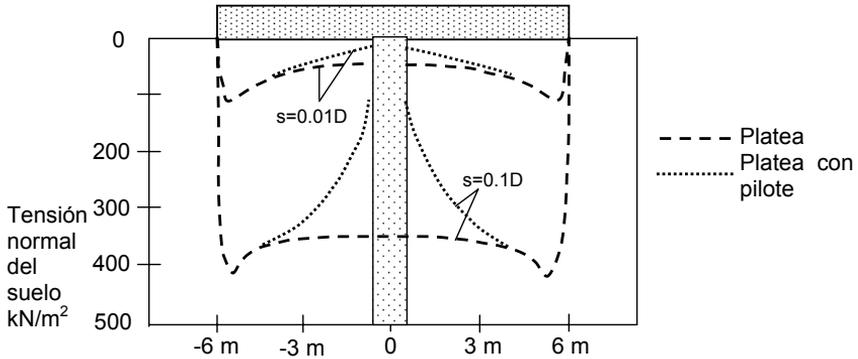
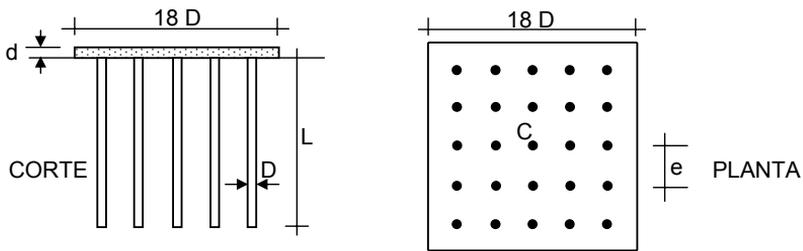


Fig. 12



C = Baricentro de pilotes, $D = 1.50$ m, $L = 30$ m, $e = 3D$ ó $6D$, $d = 1.0$ m

Fig. 13

En la fundación que consta solo de pilotes, se unieron los mismos con una platea sin contacto con el suelo. En la platea se hizo actuar una carga q constante sobre la misma, pero creciendo hasta alcanzar varias veces la carga de servicio.

Las conclusiones de la investigación permitieron estimar la relación de los asentamientos entre los diferentes casos: En una fundación CPP puede esperarse una reducción del asentamiento del 60% comparativamente con la platea sin pilotes, y una reducción de aproximadamente un 25% respecto a la fundación que consta solo con pilotes. Respecto a la distancia e entre pilotes, al aumentar la misma crecen los asentamientos, pero el volumen de los pilotes disminuye hasta un 60% cuando la relación e/D es duplicada. Por otra parte, al aumentar la relación e/D decrecen los valores de α , con el consiguiente crecimiento de los asentamientos. Con respecto a la interacción pilotes-pilotes, para el caso frecuente de optar por el valor $e/D = 3$, la

capacidad de carga lateral entre los pilotes de un grupo depende de la posición de los mismos dentro del conjunto: Un pilote central transfiere por resistencia lateral una carga considerablemente menor que el resto, debido a la interacción con los pilotes que lo rodean, pero la resistencia en la base es prácticamente la misma que el resto. Sin embargo, cuando el valor e/D es del orden de cinco o mayor, la interacción entre pilotes se anula y todos transfieren la misma carga.

Los autores del estudio sugieren adoptar un valor máximo $e/D \cong 4.5$, ya que con valores mayores la platea asume un rol mucho más importante que los pilotes, con el consiguiente aumento de los asentamientos.

4. Estado Actual del Conocimiento Referido al Análisis de una CPP

Como ya se expresara anteriormente, para el proyecto y dimensionado de una CPP es necesario que el modelo de cálculo elegido describa en forma realista y confiable el comportamiento del suelo y de los elementos de la fundación y su forma de interactuar entre sí.

Para este fin se cuenta con diversos métodos de cálculo, que se apoyan en diferentes modelos, algunos aproximados y otros de mayor elaboración.

Los métodos más simples operan con un pilote único, requiriéndose conocer en primer lugar el comportamiento del mismo bajo diferentes condiciones del suelo. Es conveniente para ello realizar pruebas estáticas de compresión de pilotes siguiendo por ejemplo la Norma DIN 1054 en combinación con DIN 4026 y DIN 4014. Si se renuncia a realizar tales pruebas, las DIN 4014 y DIN 4026 permiten acceder al comportamiento de pilotes simples en forma empírica, pero se exige que la transferencia de los resultados a grupos de pilotes de una fundación CPP sea suficientemente fundamentada.

El estudio del *comportamiento carga-asentamiento* de pilotes individuales, grupos de pilotes y una fundación combinada platea-pilotes puede abordarse siguiendo diferentes caminos. Como se observa en el cuadro siguiente, los procedimientos disponibles se agrupan en:

- Métodos basados en modelos numéricos, que deben verificarse mediante observaciones existentes.
- Investigaciones de laboratorio o de campo, así como mediciones en edificios ya construidos.
- Métodos que recurren a modelos simplificados, propuestos sobre la base de observaciones o consideraciones analíticas.

COMPORTAMIENTO CARGA – ASENTAMIENTO



4.1. Métodos simplificados

Los métodos simplificados para predecir el comportamiento de una fundación en estado de servicio resultan satisfactorios en la etapa de predimensionado de la estructura, trátase de pilotes individuales, pilotes en grupo o CPP. Con los mismos se puede en principio estimar los parámetros involucrados, como ser número, diámetro, longitud y disposición de los pilotes. Como se señala en el cuadro anterior, estos métodos pueden agruparse en las siguientes categorías:

- Correlación empírica
- Recurrencia a modelos equivalentes, como ser:
 - Platea equivalente con área de sustitución

- Pilote equivalente de mayor diámetro
- Emparrillado de pilotes
- Métodos basados en la teoría de la elasticidad
- Apoyos independientes de los desplazamientos

En lo que sigue se presenta un resumen de los conceptos básicos de cada uno de estos procedimientos.

Correlación empírica

Numerosas correlaciones para pronosticar el comportamiento carga-asentamiento de pilotes individuales son conocidas desde hace tiempo. Consisten en procesar los resultados obtenidos in situ mediante sondeos de distinto tipo o con ensayos de laboratorio para determinar la magnitud de la fricción lateral y la resistencia de punta, sea mediante tablas confeccionadas a este efecto (DIN 4014), (Katzenbach and Moormann,1997) o a través de expresiones empíricas o semiempíricas (Findlay et al.,1997). En este último contexto, Vesic (1977) propuso un método mediante el cual indica la pendiente inicial de la curva carga-asentamiento. Según esta propuesta, el asentamiento w_c de la cabeza del pilote está dado por la suma:

$$w_c = w_a + w_b + w_L$$

donde w_a es el aplastamiento axial del fuste del pilote, y w_b y w_L son los asentamientos en el pie del pilote debidos a la fuerza en la punta y a la fuerza lateral, respectivamente.

El aplastamiento del fuste del pilote w_a puede ser determinado si la distribución y magnitud de la fricción lateral son conocidas o debidamente supuestas. Vesic propuso a su vez algunas correlaciones semiempíricas para determinar w_b y w_L , suponiendo un comportamiento elástico lineal del suelo.

La curva de distribución completa carga-asentamiento de un pilote individual puede determinarse si se conoce previamente el comportamiento de la fricción lateral y de la presión en la base. Franke(1989) y Elborg(1993) analizaron en forma estadística numerosos ensayos de pilotes perforados y propusieron un método para determinar las líneas de distribución fricción lateral-asentamiento y presión en la base-asentamiento. Con estas líneas a disposición, pudieron correlacionar las mismas con los resultados de sondeos de presión (ensayos SPT) y con la resistencia inicial al corte de arcillas.

Para pilotes perforados sus resultados se volcaron en forma estandarizada a la norma DIN 4014.

En el caso de grupos de pilotes es necesario considerar adicionalmente la influencia recíproca entre los mismos en la determinación de la curva carga-asentamiento.

Se cuenta para ello con planteos empíricos, que permiten estimar el asentamiento del grupo de pilotes mediante un factor R_s con el cual se multiplica al desplazamiento que corresponde a la curva carga-desplazamiento de un pilote individual cargado céntricamente. Las expresiones empíricas se basan por lo general en valores obtenidos por experiencia a través de mediciones in situ y en investigaciones en modelos. Entre otros autores, Skempton(1951), dio a conocer el siguiente factor para grupos de pilotes hincados en arena homogénea, en base a mediciones del asentamiento:

$$R_s = \left(\frac{13.1B + 9.0}{3.28B + 12.0} \right)^2 \quad B = \text{ancho del grupo de pilotes}$$

Meyerhoff (1959) propuso para un grupo cuadrático de pilotes hincados en arena el factor:

$$R_s = \frac{c(5 - 0.333c)}{(1 + 1/n)^2} \quad c = \frac{\text{distancia entre pilotes}}{\text{diámetro } D \text{ de pilotes}}$$

$n = \text{número de filas en el grupo de pilotes}$

A su vez Vesic (1969) presentó una relación aún más simple, también en pilotes hincados en arena:

$$R_s = \sqrt{\frac{B}{D}}$$

Si bien los procedimientos empíricos posibilitan la estimación de los asientos de un grupo de pilotes uniformemente distribuidos, debe tenerse presente que no permiten determinar realísticamente los asentamientos de una CPP, ya que la interacción entre ésta, el grupo de pilotes y el suelo no son considerados propiamente. Tampoco son aptos para determinar la distribución de cargas entre el grupo de pilotes y la platea de fundación, ni siquiera para conocer la distribución de cargas entre los pilotes del grupo de acuerdo a su posición. Para ello se

han propuesto otros métodos empíricos que conducen a la determinación de las fuerzas que absorbe un grupo de pilotes de una fundación CPP, pero que a su vez no permiten determinar su asentamiento.

Métodos basados en modelos de sustitución

Los modelos de sustitución son empleados en el caso de una CPP de planta sencilla, de manera puedan ser calculados con el auxilio de métodos disponibles corrientes, como por ejemplo los aplicables a fundaciones con platea única.

Según este método, se realiza una abstracción de la fundación CPP, llevando a cabo el cálculo con un modelo simplificado, sea a través de una platea sustituta o por el contrario, a través de un pilote sustituto de gran diámetro.

a) En la primera alternativa la fundación CPP se reemplaza por una platea sustituta que se ubica a una determinada profundidad por debajo de la platea real, cuya planta es determinada en base al perímetro de los pilotes externos, incluyendo a veces un suplemento perimetral adicional. El asentamiento de la fundación CPP resulta en este caso de la suma del asentamiento de la placa sustituta – calculado por la teoría de la elasticidad considerando un semiespacio isótropo – más el acortamiento de los pilotes, que tiene lugar en la longitud entre la platea real y la platea sustituta. Dicha longitud Z está comprendida en general entre los límites siguientes:

$$0.67 L \leq Z \leq L$$

donde L es la longitud real de los pilotes. Los valores $0.67 L \leq Z$ se adoptan cuando prevalece la resistencia lateral sobre la resistencia de punta.

La aplicación del método de la platea sustituta está limitada a estimar el asentamiento de la CPP, en particular en los casos de una gran platea de fundación y pilotes escasamente distanciados entre sí. Sin embargo, no es factible conocer la distribución de la carga exterior entre la platea de fundación y los pilotes, ni de la sollicitación de estos últimos dentro del grupo, lo cual resulta imprescindible para encarar el dimensionado.

b) En la alternativa de trabajar con un pilote sustituto, este reemplaza al grupo de pilotes reales, determinándose su diámetro y rigidez mediante expresiones aproximadas y operando con éste en la forma convencional. El método tampoco contempla la distribución de cargas entre la platea y los pilotes, es decir adolece de la misma deficiencia señalada en el caso anterior.

Métodos analíticos

Una de las formas más simples de estimar el comportamiento de una fundación CPP es la conocida como principio de los apoyos independientes de los desplazamientos. Se basa en determinar en primer lugar la carga para la cual la platea experimenta asentamientos admisibles, despreciando la colaboración de los pilotes. Se asigna luego el resto de la carga exterior a los pilotes, para lo cual se admite que los desplazamientos son de tal magnitud, que se alcanza la totalidad de la carga portante de los mismos. Por lo tanto, todos los pilotes pueden ser dimensionados como si se tratara de un pilote individual, y a su vez, la platea puede dimensionarse con la carga ya determinada mediante métodos convencionales, (DIN 4019). Obviamente, esta forma de análisis desprecia por completo toda interacción entre los elementos de la CPP y el suelo, en particular las interacciones pilote-pilote y platea-pilotes, las cuales en rigor dominan el comportamiento de una CPP. A pesar de ello, este método se usa con frecuencia con motivo de su relativa sencillez y facilidad de aplicación.

Otros métodos analíticos se basan en la teoría de la elasticidad. Cabe mencionar las contribuciones de Randolph y Wrath (1978, 1983), que propusieron un procedimiento analítico simplificado para determinar la relación carga-asentamiento de pilotes individuales, en grupo y en CPP.

4.2. Métodos numéricos

En las últimas décadas se ha verificado un progreso notable en el desarrollo de métodos numéricos. Para la solución de una fundación CPP se han aplicado los Métodos de los Elementos Finitos, de Diferencias Finitas, de Elementos de Borde y los llamados Métodos Híbridos. Este desarrollo ha posibilitado tener en cuenta influencias complejas en el análisis, tales como el comportamiento no lineal del suelo, inhomogeneidades, la rigidez real de los elementos estructurales y casos generales de sollicitación. Un modelo numérico permite resolver

ecuaciones diferenciales no lineales, incluyendo aquellas que corresponden a la ley constitutiva que es usada para describir el comportamiento mecánico del suelo. En cualquiera de estos procedimientos, tanto las partes de la fundación como el suelo mismo se discretizan con elementos finitos bi- o tridimensionales, siendo posible considerar cualquier situación de terreno y condiciones de borde, así como el empleo de leyes constitutivas complejas. En las primeras aplicaciones del MEF se usaron modelos planos o modelos axial-simétricos, pero actualmente pueden analizarse asimismo estructuras tridimensionales, modelando el suelo de fundación sobre la base de un material elasto-plástico en lugar de un modelo totalmente elástico.

4.3. Comparación de los diferentes métodos de cálculo

La comparación entre los métodos sucintamente descriptos permite concluir que la versatilidad y exactitud de los resultados obtenidos en cada caso depende fundamentalmente de las suposiciones simplificadoras involucradas y de los modelos elegidos. Los métodos aproximados, como por ejemplo el Método de Sustitución y los Métodos Analíticos, son usados generalmente en la etapa de predimensionado para estimar los posibles asentamientos. Por otra parte, al aplicar cualquier método basado en la teoría de la elasticidad, debe tenerse presente que por el comportamiento plástico del suelo resultan no linealidades que no pueden ser tenidas en cuenta en los planteos simplificados anteriores. Por consiguiente, convendría limitar la aplicación de tales métodos al estado de servicio.

Respecto a los métodos numéricos, si bien posibilitan una simulación realista y completa del comportamiento de una CPP, requieren equipos y programas computacionales adecuados y la ejecución de ensayos para determinar los parámetros requeridos por el modelo numérico. La calidad de las predicciones está fuertemente condicionada a la calidad de estos datos.

5. Verificación de la Capacidad Portante (Estado Límite Ultimo)

En una fundación CPP es importante la verificación de la capacidad portante exterior e interior. La primera de ellas se refiere a la capacidad portante del suelo en su interacción con las estructuras de fundación. En cambio, la capacidad portante interior tiene en cuenta los elementos de la estructura, platea y pilotes.

Este tema ha sido tratado en la publicación “Richtlinie der kombinierten Pfahl-Platengründungen” (Recomendaciones para fundaciones combinadas de pilotes y platea), contenida en la obra de Katzenbach et al. (2002) en base al conocimiento de los datos característicos de los materiales: suelo y elementos de hormigón armado.

6. Conclusiones y Recomendaciones para el Proyecto de una CPP

* Como se infiere de los desarrollos anteriores, es necesario tener en cuenta las diferentes interacciones si se pretende un dimensionado correcto y seguro. Un proyecto geotécnico de este tipo se considera confiable cuando las interacciones entre suelo, pilotes y platea son debidamente consideradas. El modelo de cálculo elegido debe contener planteos y algoritmos de solución que simulen adecuadamente el terreno como un continuo y los elementos constructivos de la fundación, como asimismo una acertada descripción del contacto entre el suelo y tales elementos. La correcta fijación de los parámetros de entrada, de las condiciones de borde, del conocimiento de las propiedades de los materiales, en particular el terreno, se reflejará en la confiabilidad y en la deseada exactitud de los resultados.

* El prorrato de la resistencia total R_{TOTAL} entre los pilotes y la platea depende del nivel de sollicitación de la fundación CPP y puede alterarse significativamente con los asentamientos de la misma. El coeficiente α de participación de los pilotes varía con tales asentamientos y esta variación es no-lineal. En particular, para separaciones entre pilotes con e/D mayores que 4.5, se verifica para asentamientos crecientes un claro aumento de la participación de la platea, en tanto que para valores de e/D pequeños la distribución de cargas entre platea y pilotes se mantiene casi constante cuando crecen los asentamientos.

* La resistencia lateral promedio generada por el asentamiento en pilotes iguales en diámetro y longitud de una fundación CPP, es considerablemente mayor que el valor correspondiente para el pilote único, dependiendo tal diferencia de la posición del pilote dentro del grupo y de la distancia entre los mismos. La experiencia muestra que la capacidad portante promedio de los pilotes pertenecientes a un grupo de pilotes de una CPP es del orden de 1.5 a 2.0 veces la correspondiente a un pilote aislado de las mismas características.

*Se debe tener en cuenta que para valores $e/D = 3$ se debe considerar la interacción entre pilotes.

*En cuanto a la resistencia de punta, la misma no acusa variación con la posición de los pilotes.

* El efecto de corte entre la superficie de un pilote simple y los suelos cohesivos no aparece en los grupos de pilotes de una fundación CPP. Esto significa que por lo general la capacidad portante de los pilotes no es movilizadada hasta la rotura.

* La compresión de punta de los pilotes y particularmente su fricción lateral, son función del estado de tensiones del suelo circundante, el cual resulta de la suma del estado de tensiones primarias con anterioridad a la ejecución de tales pilotes y por el estado de tensiones adicional, con posterioridad a su ejecución, debido a la interacción pilotes-pilotes y pilotes-platea.

*La fricción lateral no es constante a lo largo de los pilotes, y tiene distribución no-lineal con un máximo en la zona inferior de los pilotes.

* En una CPP, para distancias entre pilotes e/D menores que 3.0, la interacción entre pilotes conduce a una significativa reducción de la acción portante de los pilotes interiores, los cuales pueden poseer un comportamiento carga-desplazamiento más “blando” que los pilotes de borde o de esquina. Distancias entre pilotes e/D mayores que 4.5 conducen a un mayor aprovechamiento de la platea y en general a mayores asentamientos de la CPP

*Cabe afirmar que cuando se eligen distancias entre pilotes relativamente reducidas, se origina una reducción de los asentamientos, tanto absolutos como diferenciales.

*Finalmente, no surgen dudas respecto a la economía que resulta del uso de una “CPP”. Dado que la capacidad portante total puede ser movilizadada, el ahorro en volumen de pilotes puede estar comprendido entre el 60% y el 80% respecto a una fundación con pilotes únicamente. A ello debe agregarse la ventaja de menores asentamientos, que se ubican entre el 50% y el 70% respecto a una fundación con platea única.

Bibliografía

- Norma DIN 4026: Ramppfähle, Herstellung, Bemessung und zulässige Belastung. *Beton Kalender (1988). Ernst Sohn*
- Norma DIN 1054: Baugrund: Zulässige Belastung des Baugrundes. *Beton Kalender (1994), Ernst & Sohn*
- Norma DIN 4014: Bohrpfähle, Herstellung, Bemessung und Tragwerken. *Beton Kalender (1994), Ernst & Sohn*
- Norma DIN 4019: Baugrund, Setzungsberechnungen bei lotrechter, mittiger Belastung, *Beton Kalender (1987), Ernst & Sohn*
- Elborg E. (1993): Verbesserung der Vorhersagbarkeit des Last-Setzungsverhaltens von Bohrpfählen auf empirischer Grundlage. *Dissertation, Fachbereich Bauingenieurwesen Technische Hochschule Darmstadt*
- Findlay J.D., Brooks N.J., Mure J.N., Heron W. (1997): Design of axially loaded piles, United Kingdom Practice. *Proceedings Int.Sem. about design of axially loaded piles, Bruselas, Balkema, Róterdam, pág. 353 – 376*
- Franke E. (1989): Die Entwicklung der Tragfähigkeitsangaben in den deutschen Pfahlnormen, *Bautechnik 66, Heft 11, pag. 367*
- Katzenbach R.(1993): Zur technisch-wirtschaftlichen Bedeutung der Kombinierten Pfahl-Plattengründung, dargestellt am Beispiel schwerer Hochhäuser. *Bautechnik 70, Heft 3, pag. 161-170.*
- Katzebach R., Moormann Ch. (1997): Design of axially loaded piles and pile groups in Germany, actual practice and recent research results. *Proceedings Int. Sem. about design of axially loaded piles, European Practice. Bruselas, Balkema, Róterdam, pag. 177 – 201*
- Hanisch J., Katzenbach, König G. (2002): *Kombinierte Pfahl-Plattengründungen* . Ernst & Sohn
- Meyerhof G.(1959) : Compaction of sand and bearing capacity of piles. *ASCE, Vol 85, SM6,pag.1-29*
- Poulos H., Davies E. (1980): *Pile foundations analysis and design*. Wiley and Sons, New York

- Skempton A.W. (1951): Piles and piles foundations, settlement of pile foundations. Proceedings 3rd. ICSMPE, Zürich, Vol.3, pag.172
- Vesic A.S.(1969): Experiments with instrumented pile groups in sand. *Symposium on Deep Foundations. San Francisco, ASTM Special Publication 444, pag. 177- 222*
- Vesic A.S. (1977): Design of pile foundations. *Natural Research Council, Washington D.C.,N°42.*
- Randolph M-F., Wroth C.P (1978):. Analysis of deformations of vertically loaded piles. *Proc.ASCE, Vol 104, 1978, pag.1465-1488*
- Randolph M-F., Wroth C.P.(1983): An analysis of the vertical deformation of pile groups. *Geotechnique 29, 1983, pag.423-439*
- Mossallamy Yasser El (1996): *Ein Berechnungsmodell zum Tragverhalten der Kombinierten Pfahl-Plattengründung.* Dissertation, Mitteilungen des Instituts und der Versuchsanstalt für Geotechnik der Technische Hochschule Darmstadt, Heft 36

Potencial Destructivo de Sismos (Segunda Parte)

Lía Orosco e Isabel Alfaro Villegas¹

lorosco@ucasal.net

Resumen

El análisis de estructuras ante la acción sísmica exige que tal sollicitación sea definida en forma adecuada a los fines de obtener resultados confiables. Es común especificar tal carga dinámica por medio de espectros de respuesta o historias de aceleraciones en la base, según el método de cálculo empleado. Tal idealización de la acción debe reflejar las características propias del movimiento en el lugar de emplazamiento de la obra.

Las características dinámicas de la acción definen su potencial de daño. Un primer artículo trató de estos tópicos. En este artículo se hace una revisión de parámetros propuestos para evaluar la capacidad de daño de los sismos.

Palabras claves: acelerogramas – potencial de daño - energía

1. Introducción

Hay varios métodos propuestos en la literatura, para cuantificar la severidad, intensidad o potencial de daño del movimiento sísmico. Actualmente los tres términos pretenden medir la misma propiedad del movimiento del suelo: su efecto sobre la estructura del lugar. El único

¹ Lía Orosco es Doctora Ingeniera de Caminos, Canales y Puertos por la Universidad Politécnica de Cataluña, en el área de la Ingeniería Sísmica. Es profesora titular de la cátedra Construcciones de Hormigón Armado, en la Facultad de Ingeniería e Informática de la UCASAL, y también es profesora en la Universidad Nacional de Salta.

Isabel Alfaro Villegas es Ingeniera Civil egresada de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional de Salta y el presente trabajo formó parte de su labor como becaria BIEA del Consejo de Investigación de la Universidad Nacional de Salta, bajo la dirección de la Ing. Orosco.

efecto observado del movimiento del suelo sobre la estructura es el daño permanente por lo que esa medida es usualmente valorada por la mayor o menor correlación que tenga con los daños realmente observados. Esto puede conducir a error, porque el alcance del daño depende de las cualidades en la construcción en el sitio. Así por esta razón, la escala macrosísmica de Intensidad Mercalli Modificada (IMM) no está aceptada como un objeto de medida confiable de potencial de daño, aunque sea muy usada para describir la distribución de daño sobre la región afectada. Una correlación racional entre una medida de intensidad y el daño estructural observado puede ser establecida solo si el sitio afectado tiene edificios uniformemente diseñados en acuerdo con el código de edificación estándar.

Las medidas de intensidad discutidas aquí son evaluadas con respecto a sus habilidades en consideración de la aceleración pico, la duración del movimiento fuerte, duración del pulso de aceleración dominante y contenido de frecuencia del movimiento del suelo.

2. Intensidad de Housner

Housner (1952) propuso como medida de la intensidad el área debajo del espectro de pseudo velocidad en el rango de periodo 0.1 a 2.5seg, correspondiente a un amortiguamiento del 5%.

$$I_H = \int_{0.1}^{2.5} S_v dT \quad (1)$$

La velocidad espectral es linealmente proporcional a la aceleración pico. Su mayor desventaja es la incapacidad para considerar el efecto de la duración del movimiento fuerte. La velocidad espectral es insensible a la duración, mientras que la energía entregada a la estructura se incrementa monótonicamente con la duración. Por otro lado, la influencia de la relación v/a , o la duración del pulso en caso de excitación impulsiva es bien representada por la velocidad espectral (por el principio del momento del impulso lineal de una partícula de masa). El contenido de frecuencia de excitación está representado implícitamente por la distribución espectral de la pseudovelocidad.

3. Intensidad de Arias

Arias (1970) introdujo la medida de la intensidad del movimiento del suelo como:

$$I_A = \frac{\pi}{2g} \int_0^{t_f} a^2(t) dt \quad (2)$$

donde t es la duración total del registro de aceleración del suelo $a(t)$. La intensidad de Arias está estrechamente relacionada con la raíz cuadrática media de la aceleración (RMS) y ésta se corresponde con el área debajo del espectro de energía total absorbido por el sistema de un grado de libertad al final de la excitación del suelo. La I_A no es sensible al contenido de frecuencia de excitación y los pulsos de aceleración largos en la excitación. La figura 1 muestra la energía acumulada de SJLO y de LHTR (ecuación 2 sin el factor $\pi/2g$) poniéndose en evidencia el carácter impulsivo del segundo.

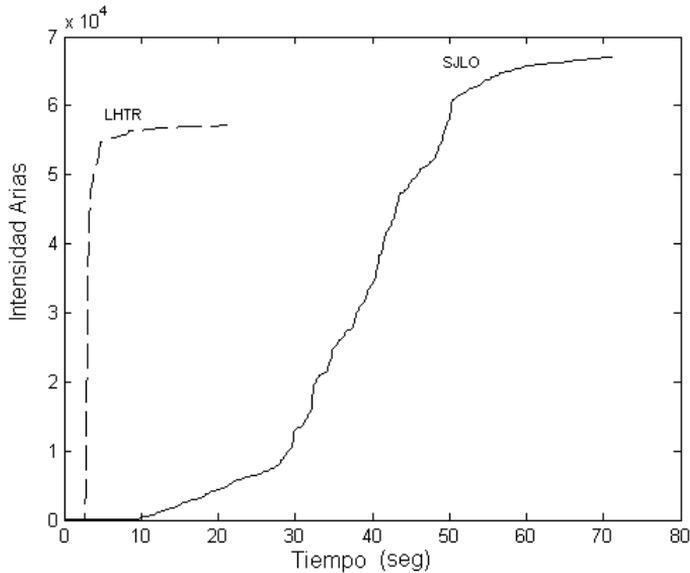


Figura 1: Espectros evolutivos de LHTR y SJLO

4. Potencial destructivo de Araya

Araya y Saragoni (1.985) modificaron la Intensidad de Arias para tener en cuenta el contenido de frecuencia. Definen el potencial destructivo P_D como:

$$P_D = \frac{I_A}{v_0^2} \quad (3)$$

En esta expresión, v_0 es el número de cruces por unidad de tiempo.

5. Consideraciones energéticas en la determinación del potencial de daño

Los parámetros antes explicados tienen implícitas en su definición consideraciones energéticas, ya que están directamente relacionados a la aceleración cuadrática media.

La respuesta estructural dependerá de las características dinámicas del sismo en el sitio donde ésta se funda y las correspondientes a la propia estructura, que actúa como un filtro, amplificando la energía correspondiente a ciertas bandas de frecuencia y no siendo mayormente afectada por otras. Por ello, se han propuesto índices de potencial de daño, considerando explícitamente la respuesta estructural.

A tal fin se debe partir de la ecuación del movimiento de un oscilador simple (S1GDL) sometido a una componente horizontal traslacional del movimiento del suelo, definida por la ecuación (4). Pero en este caso, se considerará el problema en el campo determinista; por ello, se utilizará la variable y para denominar el movimiento relativo de la masa oscilante m

$$m \ddot{y} + c \dot{y} + F(y) = -m \cdot a(t) \quad (4)$$

siendo m la masa del sistema; y es el desplazamiento relativo de la masa, c el coeficiente de amortiguamiento, $F(y)$ la fuerza restauradora del sistema y $a(t)$ es la aceleración del suelo.

La ecuación (4) es la relación fundamental que controla la respuesta vibracional del sistema. Multiplicándola por dy (que es igual a $\dot{y} \cdot dt$) e integrando en el intervalo de duración del terremoto $(0, t_f)$ se obtiene la siguiente ecuación que establece el **balance de energía**:

$$m \int_0^t \ddot{y} \dot{y} dt + c \int_0^t \dot{y}^2 dt + \int_0^t F(y) dy = -m \int_0^t a \dot{y} dt \quad (5)$$

En un oscilador simple elástico la energía de entrada es disipada completamente por amortiguamiento viscoso en el tramo final de la duración del movimiento. Si la estructura incursiona en deformaciones inelásticas, entonces la disipación es en parte debido al amortiguamiento viscoso y en parte a la histéresis del material.

En el caso de osciladores simples lineales, la ecuación anterior puede expresarse como:

$$E_i = E_k + E_s + E_d \quad (6)$$

donde:

$$E_i = m \int_0^t a \dot{y} dt$$

$$E_k(t) = \frac{1}{2} m \dot{y}^2$$

$$E_s(t) = m \omega_n^2 \int_0^{y(t)} y dy \quad (7)$$

$$E_d(t) = 2 \xi m \omega_n \int_0^{y(t)} \dot{y} \cdot dy$$

Entre otros, Fajfar y Fischinger (1990), evaluaron el efecto del comportamiento no lineal en la energía que recibe un sistema de un grado de libertad y concluyeron que la energía de entrada es independiente de la relación de ductilidad y el tipo de modelo histerético con excepción de las estructuras con períodos bajos. Uang y Bertero (1990) también observaron este comportamiento, salvo para los largos y casi armónicos pulsos del sismo de México de 1985. Por otro lado la energía total E que un terremoto determinado introduce en un edificio es una cantidad muy estable que depende principalmente del periodo fundamental de vibración y de la masa total del mismo y que apenas se ve afectado por la resistencia y por la distribución de masas o rigideces del edificio (Akiyama, 2003).

Índice de Disipación de Energía

La energía disipada por un oscilador simple durante el tiempo en que es sometido a la acción sísmica, es sensible a los parámetros que describen dinámicamente las características del sismo: duración efectiva, valores picos y contenido frecuencial. En vista de ello Sucuoglu and Nurtug (1995) proponen un índice de la capacidad destructiva de un sismo basado en la energía disipada por un sistema de un grado de libertad, que se expresa como

$$E_I = \frac{1}{T_{\max}} \int_0^{T_{\max}} V_e dT \quad (8)$$

donde:

$$V_e = \sqrt{\frac{2E_d}{m}} \quad (9)$$

es el llamado espectro de energía inducida (Akiyama, 1985) y E_d está dada en (7) La expresión (8) puede interpretarse como la energía disipada en promedio por la velocidad espectral equivalente del sistema de un grado de libertad sujeto a un movimiento en su base.

En relación a las características dinámicas de los terremotos (detallados en Cuadernos de la Facultad, volumen II), este índice es sensible a la relación a/v , a valores picos, al contenido espectral, pero no muestra un relación directa con la duración efectiva del sismo. La figura 2 muestra el espectro de energía inducida de LHTR.

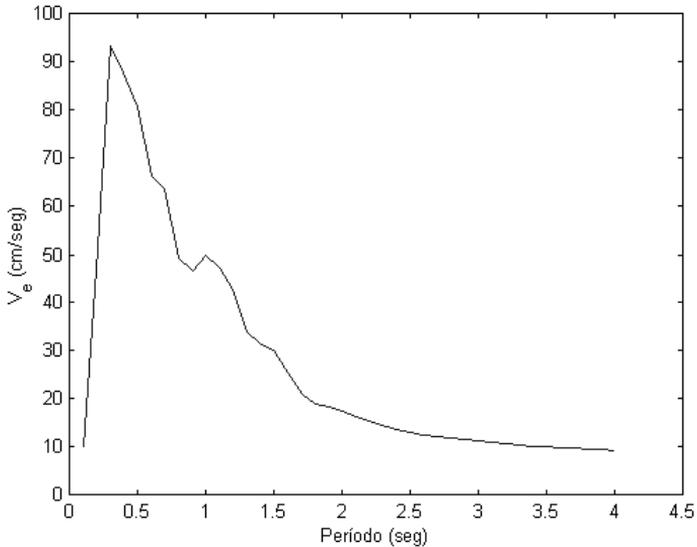


Figura 2: Espectro de energía de LHTR

El uso de la energía que es disipada por una familia de sistemas S1GDL lineales con amortiguamiento viscoso puede tomarse como medida de potencial de daño del movimiento sísmico. Se intentó considerar para medir la intensidad del sismo la disipación de la energía histerética; esto es verdad para cuantificar el daño estructural pero no el potencial de daño del sismo; el potencial de daño es la capacidad de la excitación sísmica de causar un daño, mientras el daño en sí depende fuertemente de las características estructurales. Una excitación sísmica con un potencial de daño dado quizás causa diferentes niveles de daño sobre sistemas diferentes, dependiendo de la capacidad de resistencia de dicho sistema. Se concluye que establecer una relación consistente entre la energía disipada y la relación de ductilidad no es posible sin la consideración de todas las características estructurales que contribuyen a la respuesta de sistemas S1GDL inelásticos.

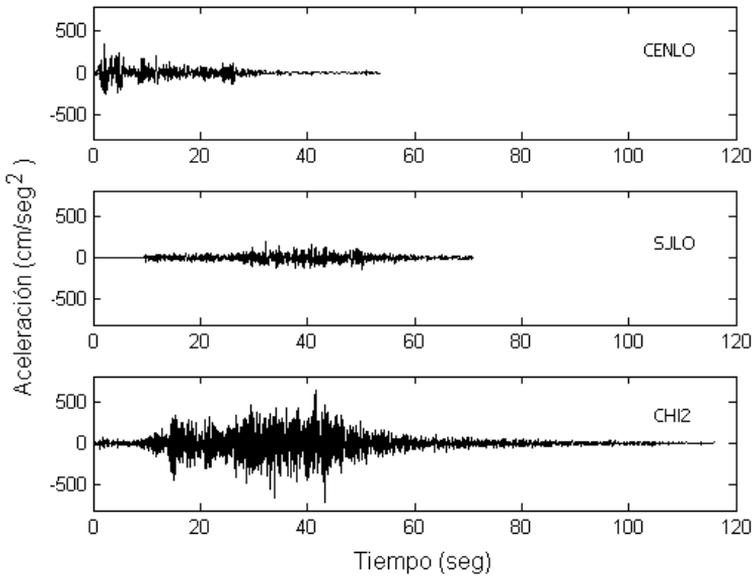


Figura 3: Acelerogramas de sismos intensos

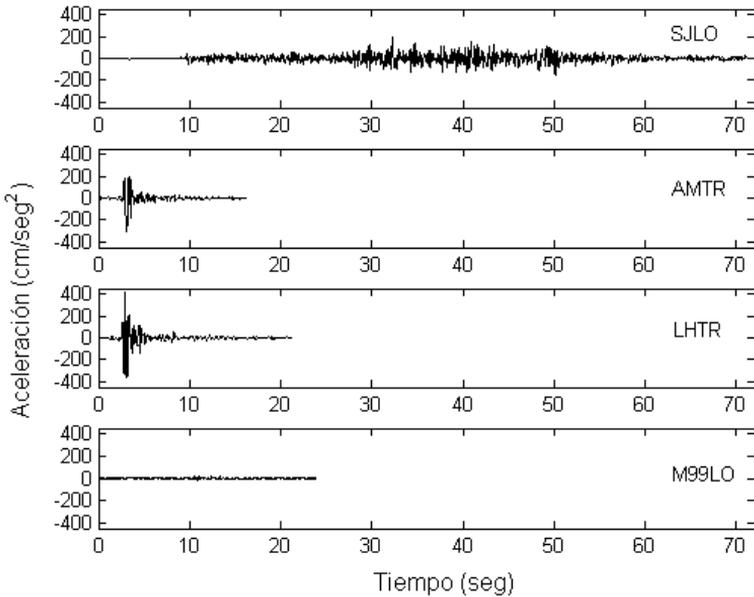


Figura 4: Acelerogramas de varios eventos argentinos

6. Registros analizados

Se analiza el potencial destructivo de algunos registros de sismos que se muestran en las figuras 3 y 4; la primera permite comparar al estar dibujados en la misma escala, tres sismos intensos: el famoso sismo El Centro, el acelerograma registrado en San Juan durante Caucete-77 y el registro en LLolloe del sismo de Valparaíso de 1985. La figura 4 permite comparar sismos registrados en Argentina, incluyéndose M99LO, que es el acelerograma registrado en la ciudad de Salta, durante el evento de Tilcara-99. Las características generales de los mismos se muestran en la Tabla 1.

Tabla 1: Características de sismos analizados

Reg.	Sismo	R	M	Amax	δ	t_f	t_e
CENLO	Centro 1940	2	6,9	341,70	0,71	53,76	24,38
CHI2	Chile 1985	-----	7,6	698,21	0,18	116,38	46,43
SJLO	Caucete 1977	75	7,4	186,93	0,51	71,24	50,32
AMTR	Mendoza 1985	28,20	5,7	332,13	0,73	16,30	3,60
LHTR	Mendoza 1985	33,10	5,7	408,47	0,66	21,28	4,19
M99LO	Tilcara 1999	227	3,9	18,54	0,76	24	17,08

La primera columna designa el registro (la terminación LO señala que se trata de la componente longitudinal y la terminación TR la transversal); R es la distancia hipocentral, en km; M la magnitud; A_{\max} el valor pico de la aceleración en cm/seg^2 ; δ el factor de Vanmarcke; t_f y t_e las duraciones total y efectiva respectivamente, en segundos.

Con respecto al potencial de daño, los parámetros analizados fueron calculados para los acelerogramas considerados en este estudio y los resultados se resumen en la Tabla 2; se determinó la intensidad de Housner I_H (cm), la intensidad de Arias I_A (cm/seg), el parámetro de Araya P_D y el índice de Sucuoglu y Nurtug, E_I , en cm/seg.

Tabla 2: Potencial de daño

Registro	I_H	I_A	P_D	E_I
CENLO	135,86	183,28	5,14	85,69
CHI2	196,79	1522,51	13,92	145,17
SJLO	68,22	105,35	1,50	56,63
AMTR	69,01	47,42	0,79	25,75
LHTR	70,26	91,46	2,11	27,71
M99LO	0,46	1,70	0,002	0,993

7. Conclusiones

La adopción de parámetros inadecuados o insuficientes para describir la capacidad de producir daños del movimiento del suelo esperado, puede conducir a la selección de terremotos de proyecto no realistas y consecuentemente a evaluaciones poco confiables del riesgo sísmico de las construcciones existentes o a una protección insuficiente de las nuevas construcciones.

Del estudio de los parámetros que miden la intensidad del mismo y su relación con las características dinámicas que definen su mayor o menos potencial de daño, se puede concluir:

1. La **energía disipada** por los sistemas S1GDL lineal y no lineal no tienen diferencia significativamente bajo componentes de excitación sísmica. Por lo tanto, los sistemas elásticos lineales pueden ser utilizados para evaluar la disipación de energía sísmica.
2. La **Intensidad de Arias** y la **Intensidad de Housner** son parámetros usados para determinar la intensidad del sismo. Estos no presentan una buena correlación cuando se examina un conjunto representativo de eventos sísmicos. A veces describen adecuadamente el potencial de daño de ciertos terremotos pero resultan inadecuados en otros. Además entre los parámetros se observan notables diferencias.
3. El **Potencial Destructivo de Araya-Saragoni** es un interesante parámetro descriptivo de la destructividad del movimiento del suelo. Este considera simultáneamente el efecto de la amplitud de las aceleraciones, de la duración del

movimiento del suelo y del contenido frecuencial. Diversos estudios e investigaciones han puesto en evidencia que este parámetro resulta bastante bien correlacionado con los daños observados y con la Intensidades macrosísmicas equivalentes. Este es el parámetro mas completo y el que mejor se ajusta a los daños observados.

4. El espectro de disipación de energía de los sistemas S1GDL pueden ser empleados como una medida efectiva del potencial de daño de los registros sísmicos, porque este considera la contribución de las características del movimiento básico de la respuesta espectral tales como la aceleración pico, la relación de velocidad y aceleración, la duración efectiva y el contenido frecuencial.

Bibliografía

- Akiyama, H., Earthquake resistant limit state design of buildings, University of Tokio Press, Tokio, 1985.
- Akiyama, H; Metodología de diseño sismorresistente de edificios basada en el balance energético, Edit. Reverté, S.A. ISBN 84-291-2012-2. Barcelona, España, 2003.
- Araya, R. and Saragoni, G.R., Earthquake accelerogram destructiveness potential factor, Proc. 8th World Conference on Earthquake Engng, EERI, San Francisco, CA, pp 835 – 842, 1985.
- Arias, A., A measure of earthquake intensity, Seismic Design for Nuclear Plants (R.J. Hansen ed.), MIT Press, Cambridge, MA, pp. 438 – 469, 1970.
- Fajfar, P. and Fischinger, M., A seismic design procedure including energy concept, Proc. 9th European Conference Earthq. Engng, Moscow, Vol 2, pp 312-321, 1990
- Housner, G.W., Spectrum intensities of strong motion earthquakes, Proc. Symp. of earthquake and blast effect on structures, EERI, Los Angeles, CA, pp 835 – 842, 1952.
- Sucuoglu H. and Nurtug A., Earthquake ground motion characteristics and seismic energy dissipation, Earthq. Eng. Struc. Dyn., Vol 24, 1995, pp 1195 – 1213, 1995.

Uang, C.M. and Bertero, V.V., Evaluation of seismic energy in structures
Earthq. Eng. and Struc. Dyn., Vol 19, pp 77- 90, 1990.

Comportamiento Emergente e Inteligencia Artificial

Verónica M. Venturini¹

veronica.venturini@gmail.com

Resumen

En su libro *Sistemas Emergentes: O qué tienen en común hormigas, neuronas, ciudades y software*, Steven Johnson describe cómo se desarrolla el comportamiento ascendente en diferentes aspectos de la vida, y cómo a partir del estudio de estas conductas, evoluciona la computación convencional hacia la Inteligencia Artificial.

Palabras Claves: Comportamiento Emergente - Conductas Emergentes - Retroalimentación - Agentes Recomendadores

1. Introducción

“Emergencia es lo que ocurre cuando un sistema de elementos relativamente simples se organiza espontáneamente y sin leyes explícitas hasta dar lugar a un comportamiento inteligente.”

(Johnson 2004)

Durante mis primeros pasos hacia el mundo de la investigación, dentro de la rama de Inteligencia Artificial, uno de los catedráticos de la universidad en la que trabajo, sugirió la lectura de “Sistemas Emergentes: O que tienen en común hormigas, neuronas, ciudades y software” cuyo autor es Steven Johnson (2004). Al iniciar su lectura,

¹ Verónica Venturini es Ingeniera en Informática por la Universidad Católica de Salta, y Máster en Ciencia y Tecnología Informática por la Universidad Carlos III de Madrid (UC3M), en el área de Inteligencia Artificial. En el ámbito laboral, es Socia-Gerente de GRIVA Soluciones Informáticas, donde se ocupa de la dirección de proyectos de software. Asimismo, pertenece al grupo de Investigación GIAA (Grupo de Inteligencia Artificial Aplicada) de la UC3M, donde se encuentra desarrollando su tesis doctoral relacionada a Sistemas Multi-Agentes para entornos de Inteligencia Ambiental.

poco comprendía el porqué de su elección, pues nada tenía que ver con la parte técnica de las Ciencias Informáticas a la que uno está acostumbrado. Era una lectura poco amena y demasiado abstracta, pero de repente se suscitan hechos que en la historia de la computación, desde la creación del primer ordenador, dan origen a la Inteligencia Artificial.

Para poder entender el concepto de esta ciencia, y de cómo fue surgiendo, Steven Johnson señala cómo diferentes sistemas, las colonias de hormigas, las ciudades y hasta el cerebro humano, tienen un comportamiento complejo que surge a partir del comportamiento individual de los componentes del sistema (siguiendo reglas simples) y la interacción entre ellos existente. Es decir, se observa un comportamiento ascendente. El descubrimiento de la inteligencia colectiva y la conducta ascendente ha sido fundamental para el desarrollo de las nuevas Tecnologías de Información y el surgimiento de la Inteligencia Artificial.

Actualmente las investigaciones sobre Inteligencia Artificial van tomando mayor relevancia, y sus aplicaciones forman parte de nuestra vida cotidiana. Las fábricas están llenas de robots que reemplazan el trabajo humano, los nuevos dispositivos electrónicos tienen inmersa una especie de inteligencia que hace que se adapten a nuestras preferencias, entre tantas otras. Principalmente en Europa y Norte América, son numerosos los prototipos y experimentos que se realizan frecuentemente con el objetivo que este comportamiento emergente e inteligente asista al ser humano en sus actividades diarias, mejorando su calidad de vida. De allí el interés por ahondar por esta rama de la informática, poco conocida para la mayoría de los lectores, quienes normalmente la relacionan con algunos escenarios de ciencia ficción.

Esta reseña se estructura de la siguiente manera: en la sección 2 se describe cómo a partir del moho de fango surge la inteligencia emergente; en la sección 3 se estudian las conductas emergentes; en la 4 se analiza la Web desde el punto de vista de la inteligencia emergente; la sección 5 refleja el concepto de retroalimentación, mientras que en la 6 se hace referencia al mecanismo de control; en la sección 7 se describen los agentes recomendadores para describir en la sección 8 a qué se denominan comunidades virtuales. Finalmente se concluye en la sección 9.

2. Del Moho de Fango a la Inteligencia Emergente

El moho de fango es un organismo sin sistema cerebral central; sin embargo posee un alto grado de inteligencia. En ciertas ocasiones, cuando el medio no es favorable, pasa de ser una única criatura a ser una colonia. En 1962, B. M. Shafer (estudiante de Harvard) describió como los marcapasos del moho de fango usaban una sustancia que bañaba a toda la comunidad, y cada célula aislada pasaba la señal a sus vecinas. En la mayoría de las situaciones de la vida (en el funcionamiento de nuestro cuerpo, en los sistemas políticos, en las organizaciones sociales) aparece esta teoría de sistemas de mando y jerarquías. En el caso del moho de fango, los investigadores no podían descubrir quién era el “general” de esa jerarquía. Después de treinta años, descartaron esta teoría, y anunciaron que no hay un líder o una célula madre, sino que las células siguen los pasos de otras células o las estimulan a arrimarse. A partir de ello, se dijo que el moho de Fango se organizaba desde abajo. Surge entonces la teoría *bottom-up* o ascendente, es decir, la agregación del moho de fango permite el estudio de la conducta ascendente.

Pasado algún tiempo, Alan Turing esbozó un sistema en el cual mostraba una forma de organización compleja basada en agentes simples regidos por leyes simples. Durante la década del 40, Turing se encontraba trabajando sobre diferentes esquemas de encriptación en los laboratorios Bell de West Street en Manhattan. En la misma empresa, Claude Shannon investigaba cómo hacer para que las máquinas detecten y amplifiquen patrones de información en canales ruidosos, lo cual también consistía en descifrar códigos. Shannon y Turing trabajaban sobre las mismas líneas de investigación: ambos eran decodificadores e intentaban construir máquinas automatizadas que pudieran reconocer patrones sonoros o numéricos. Ambos trabajaron en la idea de construir un cerebro electrónico. Turing decía que debía ser capaz de realizar infinitas rutinas informáticas, mientras que Shannon insistía en que debían lograr que esta máquina de pensar pudiera interpretar patrones musicales. Según Johnson, gracias a que Turing y Shannon trabajaron sobre dichos patrones, hoy existen máquinas que generan música. La vinculación entre patrones musicales y nuestra conexión neurológica desempeñaría un papel central en uno de los textos fundadores de la inteligencia artificial moderna: Gödel, Escher, Bach de Douglas Hofstadter. Este aprendizaje es también una clara forma de emergencia, dado que el orden de nivel superior se forma a partir de componentes relativamente simples.

Luego de cinco años junto a Turing, Shannon publicó un ensayo el cual divulgaba la disciplina de la Teoría de la Información, convirtiéndose en fundador de la misma. Posteriormente, Warren Weaver editó dicho ensayo en formato de libro con el título *The Mathematical Theory of Communication* (Shannon & Weaver 1963). Este documento merece ser reconocido como el texto fundador de la Teoría de la Complejidad. Weaver dividió el campo de la investigación en tres:

1. Estudio de Sistemas Simples con dos o tres variables
2. Problemas de complejidad desorganizados: muchas variables, uso de técnicas estadísticas y teoría de probabilidad
3. El grupo de Complejidad Organizada: al cual no le interesa la cantidad de variables, sino que las variables estén relacionadas

Jane Jacobs, haciendo referencia a Weaver, escribió acerca de la organización de las ciudades. Decía que tienen gran habilidad para comprender, comunicar, planificar e inventar lo que se requiere. Pueden aprender y reconocer patrones. Cuando Jacobs hizo sus publicaciones, se veía a la ciudad como un ejemplo de autoorganización.

Ya en la década del '50, un estudiante llamado Oliver Selfridge hacía experimentos, en el laboratorio Lineal del MIT, para enseñar a una computadora a aprender. Johnson dice que hay un mundo de diferencia entre una computadora que recibe pasivamente la información que se le suministra y otra que aprende activamente por sí misma. Selfridge hacía hincapié en el modo en el que los sistemas cambian, cómo evolucionan, es decir, cómo aprenden. Selfridge dio un simposio en el cual su presentación tenía el título: "Pandemonium: un paradigma de aprendizaje". Este paradigma se basaba en una inteligencia ascendente, distribuida y no unificada. Johnson comenta que en lugar de construir un solo programa inteligente, Selfridge creó un enjambre de mini programas limitados, a los que llamó demonios. La idea era tener un puñado de estos demonios vociferando jerarquías de forma ascendente, demonios de un nivel inferior gritando a demonios de un nivel superior. La meta de Selfridge era cómo enseñar a una máquina a reconocer letras, huellas digitales y acordes en primera instancia. Para ello agregó un conjunto de demonios debajo del nivel inferior. Estos programas se encargarían tan solo de reconocer rasgos físicos. Junto a ello agregó un mecanismo de retroalimentación. Al principio los resultados son erráticos, pero si se repite el proceso miles

de veces, el sistema aprende. Esta es la primera descripción práctica de un programa de software emergente.

En la década del '60, John Holland se propuso crear un software de aprendizaje abierto, para lo cual utilizó el método de la selección natural. Sobre el modelo del Pandemonium de Selfridge, Holland tomó la lógica de la evolución darwiniana y construyó un código. Llamó a su nueva creación "Algoritmo Genético". Holland desarrolló sus ideas entre los años 60 y 70 con lápiz, al contrario de lo que nos imaginamos. En la década del '80 crearon un sistema de Algoritmos Genéticos para simular el comportamiento de las hormigas. Su nombre era TRACKER, y sus desarrolladores: David Jefferson (informático) y Chuck Taylor (biólogo), ambos de UCLA. Johnson afirmaba que finalmente las herramientas de la informática moderna habían avanzado hasta el punto de poder simular la inteligencia emergente. Hacia la década del '90, Hill Wright lanzó el juego SimCity. La conducta emergente ya no era solo objeto de estudio de un laboratorio, ahora hasta se podía vender. Tuvieron que pasar diez años a partir de los '90 para que se produjera el gran salto. El comercio electrónico basado en la adquisición de preferencias del usuario, o dicho de otra manera, basado en el reconocimiento de nuestros gustos culturales, empezó a revolucionar las sociedades.

3. Conductas Emergentes

Retomando el concepto del comportamiento emergente del moho de fango, Johnson menciona que se observan conductas emergentes cuando los agentes individuales prestan atención a sus vecinos inmediatos sin esperar órdenes, y actúan localmente. La acción colectiva de estos agentes produce el comportamiento global. Para ejemplificar la conducta emergente Johnson explica el comportamiento dentro de una colonia de hormigas. Las hormigas piensan localmente y actúan localmente, pero producen comportamiento global. Al analizar el abastecimiento de alimentos y el tamaño de la colonia de hormigas granívoras, se observa que éstas regulan permanentemente el número de hormigas que buscan comida de acuerdo a ciertas variables: el tamaño total de la colonia, la cantidad de comida almacenada en el hormiguero, la cantidad de comida disponible en los alrededores e incluso la presencia de otras colonias en zonas vecinas. Como no hay modo de ver la totalidad del sistema, las hormigas procesan la información a través de compuestos químicos de feromonas, los cuales les sirven para crear un sistema de signos funcionales entre ellas. Para comunicarse expulsan diferentes cantidades de feromonas. El lenguaje

de las hormigas se basa en muy pocos signos, entre diez y veinte, de los cuales algunos se detallan a continuación: 'estoy en tarea de recolección', 'por aquí hay comida', conducta de alarma y comportamiento "necrofórico" (cuando retiran a las hormigas muertas). Las hormigas tienen la habilidad de reconocer diferentes cantidades de feromonas, con lo cual varían los mensajes.

Por su parte, Deborah Gordon (Stanford), quien estudió en profundidad el comportamiento de las hormigas, mencionaba que las colonias adultas son diferentes a las jóvenes. Las hormigas pueden tener conocimiento estadístico de la totalidad de la colonia de acuerdo a, por ejemplo, las veces que se cruzó una hormiga con otras. Una hormiga recolectora puede encontrar tres recolectoras por minuto, si encuentra más de tres puede que siga la regla de volver al hormiguero. La planificación descentralizada de las colonias de hormigas es el resultado de una retroalimentación local. Puede que las hormigas no sepan exactamente la cantidad de forrajeras, constructoras o recolectoras que hay, pero basándose en esta información y en la cantidad de feromona así como su frecuencia en el tiempo, adaptan su conducta. Por ejemplo, si una hormiga se cruza al azar con un gran número de forrajeras, puede que cambie su conducta de acuerdo a que sobrestima el estado global del sistema, y como hay miles de individuos, los márgenes de error son despreciables.

A continuación del estudio de las colonias de hormigas, Johnson declara cinco principios que deben seguirse si se quiere construir un sistema que aprenda desde el más bajo nivel, donde la *macrointeligencia* deriva del conocimiento local:

1. *Más es mejor*: a mayor cantidad de individuos, mejor apreciación del comportamiento colectivo.
2. *La ignorancia es útil*: es mejor construir un sistema con elementos simples y altamente interconectados y dejar que aparezcan conductas paulatinamente.
3. *Alentar los encuentros casuales*: los sistemas descentralizados dependen fuertemente de las interacciones casuales, sin orden específico.
4. *Buscar patrones en los signos*
5. *Prestar atención a tus vecinos*: la información local conduce a la sabiduría global.

Las colonias jóvenes responden de diferente manera en un tiempo corto, mientras que las colonias de mayor edad siempre actúan igual ante un mismo experimento. En el desarrollo del ser humano también se observa esta conducta ascendente, pues los seres humanos crecemos a partir de una célula, y posteriormente se generan nuevas células con diferentes funciones hasta que nos convertimos en seres complejos.

Ahora bien, con el surgimiento de las nuevas tecnologías, este tipo de conductas fue llevado al ámbito virtual. El juego SimCity explotó las posibilidades de una emergencia. Se trata de una simulación de la metrópoli. Los usuarios constituyen ciudades, pero éstas evolucionan de manera impredecible. Wright diseñó este juego como un sistema emergente donde los algoritmos son relativamente simples (ver el estado del vecino y actuar en consecuencia), pero la magia de la simulación es posible porque la computadora puede hacer miles de cálculos por segundo.

4. La Web, ¿inteligencia emergente?

El aprendizaje está asociado al conocimiento consciente. Por ejemplo cuando decimos que “nos aprendemos la cara de alguien”, hay una gran connotación consciente. Pero en realidad también hay formas de aprendizaje inconscientes, cuya clave es almacenar información y saber dónde encontrarla. Por ejemplo, si cuando somos niños tenemos varicela, el cuerpo se hace inmune al virus mientras crecemos. Ahora bien, nuestro cerebro está preparado para recibir sólo una cierta cantidad de información en un momento dado. La otra información, gracias a la creación del hombre, queda guardada en el disco rígido y la demás, desde hace ya algunos años, la encontramos en Internet. Desde el punto de vista del almacenamiento y haciendo una comparación con las ciudades, Johnson muestra cómo las ciudades funcionan a modo de dispositivos de almacenamiento y recuperación de datos. Afirma que en la ciudad se reúnen las ‘mentes’. Además realiza una comparación de los barrios con las interfaces de usuario, dado que hay límites en la cantidad de información que nuestras mentes pueden manejar en un momento dado. En el Medioevo, el almacenamiento y la recuperación de información eran con el propósito latente de la explosión urbana, mientras que hoy, en la revolución digital, son el propósito manifiesto.

Como muchos sabemos, la Web no es una cosa unificada sino sólo datos relacionados. Podría debatirse si la Web nos hace más

inteligentes, pero no es cuestionarnos que la Web es un ente consciente. La pregunta que abre debate es si la Web también aprende... Es aquí donde Robert Wright habla sobre "un cerebro global" para unir bancos de información. Sostiene en su ensayo que la macrointeligencia surge de la organización ascendente de la vida y que lo mismo ocurrirá con la Web. La Web no tiene una estructuración, es por eso que como antídoto, surgen los buscadores, permitiendo encontrar algo en lo que se tiene interés. Por su parte, Steven Pinker niega la comparación de la Web con un cerebro global porque ésta carece de interconexión y organización, mientras que el cerebro tiene una organización específica para la información de manera tal que realiza acciones. Sistemas como la propia Web, son muy buenos en cuanto a conexiones, pero muy malos en cuanto a estructuración. Las tecnologías de base de Internet son excelentes, pero no llegan a poder crear un orden de nivel superior. Y si seguimos la relación de ésta con un cerebro, la proporción entre crecimiento/orden, vendría a ser como un tumor cerebral para la web. Siguiendo esta línea, algunos observadores detectaron ciertos patrones en la red (por ejemplo, la relación del tamaño de los sitios con su popularidad, los patrones hub y spoke²) pero esos patrones no ayudan a mejorar la estructura ni a hacer más inteligente la Web, dado que sólo son patrones autoorganizados.

Johnson considera que la Web tiende a conexiones caóticas, no a la inteligencia emergente. La cuestión es que la Web está construida de manera desorganizada, y una posible solución a ese problema surge al analizar nuevamente la conducta de las hormigas. En ellas se da una interacción bidireccional: si un vecino influye en mí, yo estoy influyendo sobre él, tratándose de una retroalimentación. Johnson hace hincapié en esta idea, y reflexiona lo siguiente: "La Web carece precisamente de retroalimentación porque los vínculos HTML son unidireccionales. Y dada la intolerancia a la retroalimentación de la Web, debido a su vinculación unidireccional, no hay modo de que vaya aprendiendo a medida que crece; está es la razón por la cual depende de los motores de búsqueda para controlar su caos natural".

Brewster Kahle, en Alexia Internet, alberga lo que puede conocerse como la mejor instantánea de la Inteligencia Colectiva en el mundo: 30 terabytes de datos, archivos de la propia Web y de los patrones de tráfico que fluyen a través de ella. Kahle y Bruce Gilliat crearon Alexa con el objetivo de tomar instantáneas de la web y luego

² Hub & Spoke es una estructura logística que consiste en agrupar envíos de diferentes orígenes dentro de terminales (Hub) para luego enviarlos a sus destinos (Spokes).

indexarlas en dispositivos de almacenamiento. Una de las ideas era que los usuarios puedan acceder a hipervínculos sin que les aparezca el error de que la página no fue encontrada, debido, por ejemplo, a que ya no se encuentra en el servidor o ha cambiado de dirección. Primero crearon una barra de herramientas que se activa en los exploradores. Cuando está activa, ante una solicitud del usuario, se examina la información de la URL en los servidores de Alexa, y ante un error de “archivo no encontrado”, empieza la búsqueda en los archivos de una versión anterior de la web solicitada. A esta barra la apodaron “Motor de Surf”. También Kahle comentó sobre cómo el sistema puede ir aprendiendo las preferencias del usuario, rastreando los patrones de navegación. Antes de empezar a trabajar con el Alexa, incorporaron un botón a la barra llamado “*what’s next?*”. Su utilidad es la siguiente: cuando se ingrese a un sitio, aparecerá una lista de vínculos relacionados al mismo tema. Esto se hace a través de la observación de patrones de tráfico y mirando a los vecinos. El software aprende de los usuarios, y va creando relaciones entre vínculos que pueden crecer o debilitarse de acuerdo al comportamiento en la navegación de un número inimaginable de usuarios.

“El poder de navegación de Alexa emerge de la navegación errática de su base de usuarios; ninguno de esos usuarios busca crear deliberadamente grupos de sitios relacionados o proporcionar a la Web la estructura necesaria. Simplemente se hace uso del sistema y el sistema aprende. El software será más inteligente cuantos más usuarios naveguen por esos sitios. Si únicamente mil personas incorporan Alexa a sus navegadores, las sugerencias no dispondrán de datos suficientes como para ser acertadas. Pero si suman otros diez mil usuarios, las asociaciones del sitio cobran una increíble resolución. El sistema comienza a aprender” (Johnson 2004). Un software como Alexa intenta reproducir el saber popular de la práctica de información que se produce en la calle, en la vida cotidiana.

Además de Netscape, navegador que incluye Alexa en sus herramientas, una compañía perteneciente a *The New York Times*, ofrece un servicio de filtros para búsquedas concretas. Otro ejemplo es el sitio *Everything2* que crea una enciclopedia inventada por el usuario a partir de sus patrones de tráfico. El autor hace una comparación de la capacidad de reconocer patrones de nuestro cerebro en cada uno de nuestros procesos mentales y su capacidad operacional (200 operaciones por segundo por cada neurona), frente a la PC (que hace millones de operaciones por segundo). Puede ser que la Web nunca

alcance la conciencia de la mente humana, pero eso no significa que no será capaz de aprender. La Web busca patrones en los datos y los convierte en información útil para los humanos.

Concluyendo esta sección, es importante destacar que, tras el surgimiento de las nuevas tecnologías, individuos de la rama de humanidades expresan a menudo que con la web la cultura a nivel mundial se deteriora a pasos gigantes. Más aún, con la innovación de los agentes recomendadores, creen que nuestro conocimiento disminuirá por el hecho de que si aprenden del usuario, los sitios sólo nos mostrarán el conocimiento popular.

5. Retroalimentación

El neurólogo Richard Restak, explica las redes neuronales del cerebro de la siguiente manera: “Cada pensamiento y conducta se alojan en los circuitos neuronales, y la actividad neuronal que acompaña o inicia una experiencia persiste en la forma de circuitos neuronales reverberantes, que se definen más claramente con la repetición. De este modo, los hábitos u otras formas de memoria pueden consistir en el establecimiento de circuitos neuronales permanentes y semi-permanentes”. Johnson nos hace reflexionar acerca de cómo se produce así una retroalimentación. Cada neurona se interconecta con miles de otras neuronas, y la transmisión de estímulos se produce a todas ellas, pudiéndose dar que alguna de ellas se remita a la fuente, y el proceso comience de nuevo. La idea es que en la Web se produzca esta fuerte interconexión entre la información.

Ahora bien, la retroalimentación puede ser positiva o negativa. La retroalimentación negativa es un modo de alcanzar un punto de equilibrio a pesar de las condiciones externas. La “negatividad” mantiene controlado al sistema, así como la retroalimentación positiva pone a otros sistemas en movimientos. El sistema debería tener capacidad para autorregularse. La primera computadora digital, surge luego de que las fuerzas armadas norteamericanas pidieran a Wiener que diseñara un método para que las armas dispararan automáticamente sobre sus objetivos, a partir de la guerra desatada entre Japón y EEUU. Wiener se planteó que podía tomar la ubicación y el movimiento del blanco para disparar; utilizaría la retroalimentación negativa puesto que los objetivos eran de cierto modo predecibles pero también sujetos a cambios bruscos. Ahora bien, para ello, la computadora tenía que ser capaz de analizar el flujo de información en tiempo real. No era sólo un problema de software, influían varios

factores. La retroalimentación negativa compara el estado actual del sistema con el estado deseado e intenta adaptarse a este último. Tomando patrones, sigue distintos mecanismo para intentar que el sistema se autorregule. El mecanismo en curso es el dato que se modifica para llegar al estado deseado. A esa habilidad de 'autorregulación' que se produce también en los seres humanos, Wiener le dio el nombre de 'homeostasis'.

A partir de este concepto Johnson analiza como las primeras generaciones de comunidades *on-line* (como *Echo* o *The Well*) se subdividieron en unidades más pequeñas organizadas alrededor de temas específicos. *Echo* y *The Well* tuvieron cierto equilibrio homeostático por su capacidad para autoorganizarse, pero ninguna tuvo conducta ascendente pura. Porque por ejemplo, las zonas temáticas fueron planeadas y luego creadas.

Pasando a otro ámbito, vemos el caso del *chat* en el cual de cierta manera, dentro de un debate, podemos consensuar opiniones (más ahora a través de gestos) encontrando ese equilibrio, ajustamos la conducta. Otro es el caso de la autorregulación, y como ejemplo el e-mail, puesto que el usuario tiene más posibilidades de expresar sus ideas sin interrupciones. La retroalimentación debería ayudar a regular las ciudades digitales de la comunicación *on-line*. *Slashdot*, una comunidad creada por el holandés Rob Malda, recibía miles de usuarios por día. Como era imposible filtrar de manera manual tantos mails, más que nada *spams*, Malda dio la posibilidad de calificar con una puntuación a los colaboradores. Luego Amazon incluyó la idea de que usuarios clasifiquen las reseñas de otros usuarios. Finalmente eBay empezó a utilizar dos mecanismos de retroalimentación:

1. Retroalimentación de precios de las ofertas de la subasta: el sistema rastrea la mercancía
2. Calificaciones de usuarios que evalúan a compradores y vendedores: el sistema rastrea a las personas

"En *Slashdot* el medio es el mensaje y además está la audiencia. Ambos elementos coexisten en un conjunto de reglas que gobiernan el modo en que los mensajes circulan a través del sistema. El problema está en que quizá se dé un exceso del pensamiento global, siguiendo el ejemplo de los e-mails, no todos los correos llegarían y una minoría capaz que ni lleguen a enviarse. *Los puntos de vista de la mayoría se amplían, los de la minoría son silenciados.*" (Johnson 2004). Por eso se

dice que se necesita de un tercer término aparte del mensaje y el medio. La idea es cambiar las reglas para que el usuario vea resultados heterogéneos, colocando filtros de calidad y también de diversidad. Es decir, ajustando los circuitos de retroalimentación se crea una nueva comunidad.

6. Control

En este capítulo Johnson propone el programa StartLogo como un ejemplo de sistema ascendente para modelar sistemas emergentes. En principio permite crear a partir de simples píxeles, formas complejas, animaciones y simulaciones. StarLogo fue creación de Mitch Resnick. Él llamó a Marvin Minsky (gurú de la Inteligencia Artificial) para que observara su simulación del moho de fango. Minsky en primera instancia asoció esa simulación a un sistema centralizado, donde veía criaturas organizándose alrededor de porciones de alimento. Resnick le explicó las reglas del programa y cómo representaba la autoorganización. En realidad eran sólo criaturas organizándose. Johnson describe que la simulación consistía en varias gotas verdes en la pantalla (feromonas), con un racimo de tortugas moviéndose dentro de cada gota. Las tortugas vagaban al azar entre las gotas. Cuando una tortuga pasaba cerca de una gota, se unía al racimo de tortugas. Es una conducta descentralizada, pues no se programan las células del moho de fango para que armen racimos, sino para que sigan patrones de acuerdo a los rastros dejados por sus vecinas. A mayor cantidad de células (población), mejor se puede estudiar la conducta.

El antiguo paradigma del software se basaba en la teoría de que el programador escribía el menor código posible para hacer múltiples tareas, el arte era el de los sistemas de control. Era una teoría de la creatividad. Pero las nuevas generaciones apuntan a la teoría determinista de la evolución. Johnson dice que hay que dejar crecer al software, en vez de construirlo como una obra de ingeniería. Danny Hillis construyó un sistema para ordenar números. Fue una fórmula de aprendizaje, un programa para crear otros programas. Escribió código para que la PC creara miles de mini programas, cada uno de los cuales trataba de ordenar la secuencia de números correctamente. De ahí seleccionó los que mejor se aproximaban, mutó sus códigos y los cruzó con otros programas. Repitió este proceso hasta alcanzar el objetivo, buscando los máximos. Pero sabía que lo hacía en muchos pasos y que quizá fallaría en algunas situaciones. Por eso introdujo el concepto de “predadores”, cuya idea era dispersar esos máximos para encontrar picos más altos, es decir, encontrar mejores resultados. “Ahora bien, la

cuestión de control descansa en los pilares de la interacción y surgen preguntas como quién tiene el control, ¿la PC o el humano? ¿el programador o el usuario?” (Johnson 2004). Desde el punto de vista de los videos juegos, las generaciones anteriores debíamos tener el control sobre los personajes y descubrir las reglas de juego, mientras que actualmente los personajes tienen vida propia. Hoy en día, los diseñadores de juego crean a los protagonistas y controlan los micro-motivos de las acciones de los jugadores, pero el modo en que esos micro-motivos son explotados así como la macro-conducta están fuera de control del diseñador.

Los juegos nos parecen atractivos porque tienen reglas, pero también los sistemas emergentes están gobernados por reglas. Su capacidad de aprendizaje, crecimiento y experimentación se derivan de reglas muy simples de un nivel inferior (aprovechar el espacio para crear algo mayor que la suma de las partes). Un ejemplo cercano a esta teoría es el juego de Los Sims. Su creador Hill Wright comenta el hecho que dar demasiado control es caótico, pero su inexistencia puede ser aun peor. Como le dieron tanta inteligencia artificial al juego, éste es más inteligente que el jugador porque sabe como obtener el máximo beneficio. Entonces disminuyeron la inteligencia de Los Sims para que el jugador ponga la ambición y el equilibrio. La idea es mantenerse en el límite. De alguna forma es como que se desplaza el rol del jugador, puesto que no hay un objetivo fijo, y la ciudad y el comportamiento de los habitantes no depende en alto grado del usuario, pero es necesario su control.

7. Ambiente Inteligente: agentes recomendadores

Durante la última década, logramos estar conectados a millones de personas a través de Internet. Una comunidad de esa escala requiere de una nueva solución. Para eso acudimos a la autoorganización para encontrar las herramientas. De acuerdo a lo estudiado hasta aquí, se observa como tanto las ciudades, el cerebro y el software se basan en la autoorganización para su funcionamiento, y como las interrelaciones locales hacen al comportamiento global. Así como el cerebro humano evolucionó durante millones de años por retroalimentación, el software capaz de detectar nuestras preferencias e imitar la mente humana está iniciando un proceso de cambio en la sociedad. Existen hoy en día muchas investigaciones para adaptar estos agentes recomendadores en la vida cotidiana.

“El software usará herramientas para construir modelos de nuestros propios estados mentales” (Johnson 2004). En cierto modo esto no es algo nuevo, sino que se remonta a las décadas de 1970 y 1980 cuando se comenzaba a desarrollar software con interfaces gráficas basadas en íconos, dado que para nuestra mente es más fácil asociar conceptos con imágenes. También el mecanismo de abrir y cerrar ventanas de programas surge de la imitación de la realidad.

La interacción con software emergente fue llamada, en la década del '90, “*filtro colaborativo*”. Tuvo mucha importancia dado que cada vez existe más software dedicado a *filtrar* nuestros intereses y a la vez *colaboramos* con el aprendizaje de la Web. La emergencia aplicada, la teoría del bottom-up, la capacidad de aprendizaje irá más allá del software de la PC, se instalará en el televisor, la heladera, tal como lo estudia hoy por hoy la *computación ubicua*.

Los medios de comunicación

Desde otro punto de vista, el autoaprendizaje va tomando forma dentro de los medios de comunicación. Johnson lo ejemplifica mediante:

1. *Daily Me* (DailyMe.com), un periódico que aprende a mostrarnos las noticias que nos interesan
2. *Replan* y *TiVo* aprenden a mostrarnos qué queremos ver en la televisión. De esta manera ya no dependemos de la programación de un canal en particular, podemos ver lo que queramos a la hora que queramos y rebobinar para repetir alguna parte de lo que estamos mirando, puesto que este tipo de software hace grabaciones de la última media hora.

Otra línea de investigación es hacer más inteligente la publicidad otorgando cierto grado de retroalimentación y autoorganización para que se generen filtros y nos lleguen anuncios de nuestro interés. Asimismo, se controlaría la masiva emisión de *spams*. Algunos sitios de comercio electrónico como Amazon, y en el continente americano Mercado Libre, así como los sitios que permiten la búsqueda de empleos (Bumerang, por citar un ejemplo), están aplicando un grado de inteligencia en su funcionamiento, haciéndonos llegar solo información de nuestro interés, dado que al registrarnos nos permiten establecer filtros, y en el caso del *e-commerce*, van aprendiendo de acuerdo a nuestras compras.

De alguna manera, esta inteligencia abarcará todos los ámbitos y medios de nuestra vida, siendo Internet un repositorio de meta datos, tanto de nuestras conductas como de nuestros patrones, que permitirán la autoorganización de otros sistemas.

8. Comunidad Virtual

Johnson hace una aplicación del problema del viajante de comercio (recorrer ciertas cantidades de ciudades haciendo el camino más corto y sin repetir las) a los servidores de red distribuidos en todo el planeta. Tras la solución al problema, algunas compañías de comunicaciones han aplicado la teoría del camino más corto a sus estrategias de enrutamiento. Ahora se piensa en el futuro en cómo se transmitirán los datos en las redes dado el gran volumen de habitantes virtuales. Otro análisis que se hace es que en la década del '90 pronosticaban que la vida en la ciudad tendería a desaparecer, y que la gente trabajaría desde su casa del campo. Pero ese pensamiento fue erróneo, los habitantes actualmente se reúnen para compartir estas horas de navegación, ya sea por investigaciones, juego o simplemente distracción. Entonces, así como hablamos de un nivel de software inteligente, se habla también de la inteligencia en las redes, totalmente necesaria para el soporte de esta nueva sociedad, la comunidad virtual.

Para finalizar, cito un párrafo que demuestra la existencia de la emergencia en todos los ámbitos, a modo de síntesis de lo planteado: "Un tipo de inteligencia descentralizada (el cerebro humano) capta una nueva forma de aplicar las lecciones de otra inteligencia descentralizada (las hormigas), lo cual sirve luego como plataforma (la red) para una transmisión de otro tipo (las ciudades virtuales), de la cual disfrutamos cómodamente sentados en nuestros hogares dentro de barrios del sistema de autoorganización más grande del planeta fabricado por el hombre (la ciudad real)". Estos acontecimientos marcan un nuevo hito en la historia del hombre, que sucede a la revolución industrial en gran escala.

9. Conclusiones

Los objetos que nos rodean en las actividades cotidianas, empiezan a ser cada vez más inteligentes. Pero para haber podido llegar a este punto, grandes científicos realizaron innumerables investigaciones hasta llegar a la invención de la computadora, y más adelante a la de la inteligencia artificial.

Sistemas Emergentes es un libro para aquellas personas interesadas en el campo de la Inteligencia Artificial. Es recomendable su lectura puesto que nos otorga una visión abstracta para poder comprender de dónde surge dicha ciencia, antes de adentrarnos en conocimientos técnicos y más específicos. Pero además, aquellas personas que tengan curiosidad por comprender cómo llegó hasta nosotros esa extraña herramienta de trabajo que reemplazó por completo a las anotaciones en cuadernos, la computadora, podrán realizar una lectura más superficial y rescatar algunas ideas generales, a pesar de no tener conocimientos de informática. Es decir, durante la primera mitad del libro la lectura es sencilla para cualquier persona, pero luego empieza a profundizar o mencionar algunos conceptos específicos para informáticos, aunque las ideas generales siguen teniendo sentido para los no expertos en el área. *Sistemas Emergentes* es un libro destinado mayormente a orientar a las personas que quieren dedicarse a realizar aportes dentro de la Inteligencia Artificial.

A partir de la explicación del comportamiento del moho de fango, las colonias de hormigas, las ciudades y el cerebro humano, se explica en el texto como evolucionaron el software y las nuevas tecnologías en general. Cómo pasamos de un software dominado por el control, a un software totalmente libre, de autoaprendizaje, y de esta manera, como la Inteligencia Artificial empieza a formar parte de la realidad. Haciendo otro análisis, en cuanto al nivel de cultura que desde ciertos puntos de vista se ve deteriorado, creo que depende mucho del entorno y las exigencias en la educación. Ya desde la aparición de Internet se observa cómo en la sociedad joven de alguna manera “huyen” de los libros, pero lo peor del hecho es que cuando hacen sus presentaciones son copia fiel de la información extraída de la web, puesto que ni siquiera hacen una lectura previa a la entrega. Quizá esta observación sea válida en el ámbito de mi país, dada mi experiencia con estudiantes adolescentes. Otro es el caso de la gente adulta que se “aferra” a lo que dice la Web, quizá por carecer de los conocimientos suficientes. Y en ese sentido, comparto la opinión de la gente de humanidades acerca de que Internet nos vuelve más ‘tontos’. Pienso también que no hay por qué alarmarse, pues una persona culta, o con mucho interés, de todas maneras irá mas allá de esas recomendaciones, consultará con expertos y en la bibliografía correspondiente si fuese necesario, o como se menciona en el libro acerca que nuestro conocimiento disminuirá por el hecho de que si aprenden del usuario, los sitios sólo nos mostrarán el conocimiento popular.

Ahora bien, hablando de Internet, los agentes recomendadores como facilitadores de contenido, son una creación fascinante puesto que uno debe saber seleccionar el buen contenido en la web. Los agentes son el nuevo paradigma del desarrollo de software, y en cierta forman, realizarán las tareas por nosotros, de acuerdo a nuestros gustos particulares. Por otro lado, los algoritmos genéticos y las redes neuronales aportan a la construcción de robots y además a la creación de una obra de arte o de un servicio de asistencia personal.

Los principios de la generación de sistemas emergentes están siendo empleados para propiciar tecnologías más aptas, más inteligentes. De hecho, éstas últimas empiezan a hacerse presentes, y mucho queda por mostrar de las investigaciones que se están persiguiendo. Es un libro de temática interesante, pues las nuevas tecnologías nos rodean en lo cotidiano, y hacen que ese futuro que se plasmaba años antes ya esté a nuestro alcance. Es importante que estos avances se realicen de forma no intrusiva para el individuo, haciendo un uso ético y responsable, permitiendo el desarrollo de las nuevas comunidades u organizaciones digitales, pero sin dejar de lado las verdaderas relaciones humanas. La Inteligencia Artificial que solo veíamos como Ciencia Ficción ahora es parte de la vida real.

Bibliografía

- Johnson, Steven. *Sistemas Emergentes: O qué tienen en común hormigas, neuronas, ciudades y software*. Ediciones Turner/Fondo de Cultura Económica. Madrid, 2004.
- Shannon, Claude y Weaver, Warren. *The Mathematical Theory of Communication*. University of Illinois Press, Urbana, 1963.

La Programación Funcional: Un Poderoso Paradigma

Gustavo Ramiro Rivadera ¹

gritadera@ucasal.net

Resumen

El presente artículo pretende introducir al lector en el paradigma de la programación funcional, utilizando el lenguaje Haskell, un lenguaje funcional puro, de propósito general, que incluye muchas de las últimas innovaciones en el desarrollo de los lenguajes de programación funcionales.

Palabras Claves: programación funcional, paradigma funcional, abstracción de datos, funciones de orden superior, evaluación perezosa, transparencia referencial, tipos de datos

1. Introducción

Hace ya bastante tiempo, cuando cursaba mis últimos años en la Universidad, formé parte de un proyecto de investigación en arquitecturas de computadoras. En este proyecto analizábamos y clasificábamos todas las posibles tipos de arquitecturas existentes, desde las comunes y ubicuas PC a las lejanas (para nosotros) supercomputadoras paralelas. En ese proyecto, a la par de descubrir que no todas las computadoras eran PC, y que no todas tenían un solo procesador y del mismo tipo, me di cuenta asimismo que los lenguajes de programación que utilizaban tampoco eran similares. Claro que ya había aprendido el omnipresente Pascal, algo de C, C++, y la nueva ola de los lenguajes orientados y basados en objetos, pero lo que me llamó la atención, no fueron las variaciones sobre estos últimos lenguajes,

¹ Ingeniero en Computación, desarrollador independiente de software, docente de las Cátedras de Modelos y Simulación, Análisis Estratégico de Datos y Bases de Datos III, en la Facultad de Ingeniería e Informática, UCASAL. Actualmente cursa la Maestría en Ingeniería del Software en el Instituto Tecnológico de Buenos Aires (ITBA).

sino otros radicalmente distintos, diseñados muchas veces en forma especial para máquinas específicas. Para comenzar, estos lenguajes no ordenaban sus computaciones (instrucciones) en forma secuencial, sino que el orden estaba dado por, en el caso particular de los funcionales, la aplicación de funciones a otras funciones, resultando por tanto, innecesaria la existencia de variables. Finalmente, este proyecto me llevó a investigar sobre los diferentes paradigmas de programación.

Un paradigma de programación es una forma específica de realizar las computaciones. Un lenguaje de programación siempre sigue un paradigma o una mezcla de varios; por ejemplo el paradigma procedimental es seguido por la mayoría de los lenguajes actuales, tales como JAVA, Pascal y C++. También podemos encontrar lenguajes con la influencia de dos paradigmas, por ejemplo el antes mencionado C++, que tiene su origen procedimental y al cual se le ha agregado el paradigma orientado a objetos.

El paradigma del que trata este artículo se denomina funcional, programación funcional o FP.

2. Orígenes

Los orígenes de la programación funcional pueden rastrearse al matemático Alonzo Church, que trabajaba en la Universidad de Princeton, y, al igual que otros matemáticos de allí, estaba interesado en la matemática abstracta, particularmente en el poder computacional de ciertas máquinas abstractas. Las preguntas que se hacía eran por ejemplo: si dispusiésemos de máquinas de un ilimitado poder de cómputo, ¿qué tipos de problemas se podrían solucionar?, o ¿se pueden resolver todos los problemas?

Para contestar este tipo de preguntas, Church desarrolló un lenguaje abstracto, denominado Cálculo Lambda, que el cual sólo realizaba evaluación de expresiones usando funciones como mecanismo de cómputo. Este lenguaje abstracto no tenía en cuenta limitaciones concretas de implementación de ningún tipo.

Al mismo tiempo que Church, otro matemático, Alan Turing, desarrolló una máquina abstracta para intentar resolver el mismo tiempo de problemas planteados por Church. Después se demostró que ambos enfoques son equivalentes.

Las primeras computadoras digitales se construyeron siguiendo un esquema de arquitectura denominado de Von Neumann, que es básicamente una implementación de la máquina de Turing a una máquina real. Esta máquina forzó de alguna manera el lenguaje en el cual se escriben sus programas, justamente el paradigma procedimental, el cual, como menciona Backus en un muy famoso artículo que escribió al recibir el premio Turing en 1978 (Backus 1978), tiene tantísimos defectos, que muchos programadores padecemos aun hoy.

La programación funcional se aparta de esta concepción de máquina, y trata de ajustarse más a la forma de resolver el problema, que a las construcciones del lenguaje necesarias para cumplir con la ejecución en esta máquina. Por ejemplo, un condicionamiento de la máquina de Von-Neumann es la memoria, por lo cual los programas procedimentales poseen variables. Sin embargo en la programación funcional pura, las variables no son necesarias, ya que no se considera a la memoria necesaria, pudiéndose entender un programa como una evaluación continua de funciones sobre funciones. Es decir, la programación funcional posee un estilo de computación que sigue la evaluación de funciones matemáticas y evita los estados intermedios y la modificación de datos durante la misma.

Hoy en día existen diversos lenguajes funcionales. Se podría considerar como uno de los primeros lenguajes funcionales al LISP, que actualmente sigue en uso, sobre todo en áreas de la inteligencia artificial. También un pionero de este paradigma es APL desarrollado en los años 60 (Iverson 1962). El linaje funcional se enriqueció en los años 70, con el aporte de Robin Milner de la Universidad de Edimburgo al crear el lenguaje ML. Éste se subdividió posteriormente en varios dialectos tales como Objective Caml y Standard ML. A fines de los años 80, a partir de un comité, se creó el lenguaje Haskell, en un intento de reunir varias ideas dispersas en los diferentes lenguajes funcionales (un intento de estandarizar el paradigma). Este año Microsoft Research ha incluido un nuevo lenguaje (funcional), denominado F#, a su plataforma .NET.

La Figura 1 compara gráficamente ambos paradigmas.

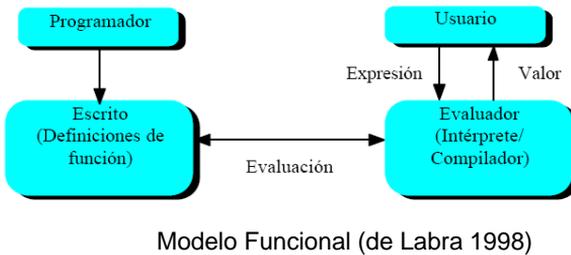
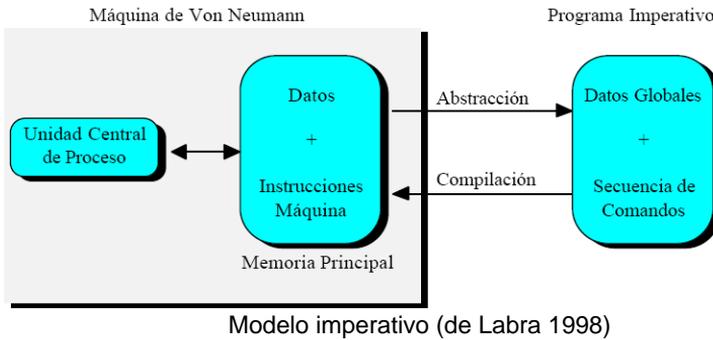


Figura 1. Comparación entre los modelos imperativo y funcional (Labra 98).

3. Qué es la programación funcional

En este breve artículo, intentaré explicar la utilidad y potencia de la programación funcional, por medio de pequeños ejemplos, para comprender más rápidamente esta filosofía de programación.

Dado el nombre del paradigma, sabemos básicamente que lo central en el mismo es la idea de función, que podríamos decir es análoga a lo que conocemos de funciones de la matemática. Por ejemplo, podemos escribir en el lenguaje funcional Haskell:

```
Factorial :: int -> int
factorial 0 = 1
factorial n = n * factorial (n-1)
```

Es decir, la última es una función sencilla, parecida a la que conocemos de las matemáticas de la secundaria, que permite calcular el factorial de un número entero (ver definición de la función factorial más abajo).

Comparemos esa línea de código de Haskell con la siguiente en un lenguaje como C#:

```
unsigned factorial (unsigned n)
{
    int product = 1;    // valor inicial
    while (n > 1)
    {
        product *= n--; // acumulador
    }
    return product;    // resultado
}
```

Este ejemplo es muy sencillo y los dos fragmentos de código son muy parecidos. Sin embargo, la definición de Haskell es mucho más cercana a la matemática:

```
0! = 1
n! = n * (n - 1)!
```

La pregunta que nos hacemos ahora, es si podemos construir programas complejos usando simplemente funciones. Esta pregunta se puede contestar fácilmente si describimos las características principales de este tipo de lenguajes. A modo de ejemplo de introducción, veamos como se escribiría el programa de ordenamiento QuickSort en Haskell:

```
quicksort [] = []
quicksort (x:xs) = (quicksort [ y | y <- xs, y <= x ])
                  ++ [x] ++
                  (quicksort [ z | z <- xs, z > x ])
```

En este caso, conseguimos un programa muy sencillo y corto, que basa su potencia en la habilidad de Haskell de manipular listas (`[]`) y especificar funciones recursivas. Quicksort se define recursivamente, a partir de la misma definición matemática del algoritmo. Este algoritmo utiliza una estrategia de divide y conquista (*divide and conquer*), la cual divide a una lista en dos sublistas, la primera con elementos menores o iguales que uno dado, denominado *pivot*, y la segunda con elementos mayores. En la primera línea del cuerpo (línea 2), se define la primera sublista, en la segunda línea el *pivot*, y la tercera línea la tercera sublista. El operador predefinido `++` concatena dos listas. Cada llamada recursiva a QuickSort en el cuerpo especifica que se concatenará el nuevo elemento (`y` o `z`) a la lista de argumento siempre y cuando se cumpla con la condición de más a la derecha (ej. `y <= x`).

Comparemos ahora nuestro sencillo programa funcional con uno en un lenguaje procedimental, tal como C (Wikipedia 2008):

```
//Programa Quicksort en C
void quicksort(int* array, int left, int right)
{
    if(left >= right)
        return;

    int index = partition(array, left, right);
    quicksort(array, left, index - 1);
    quicksort(array, index + 1, right);
}

int partition(int* array, int left, int right)
{
    findMedianOfMedians(array, left, right);
    int pivotIndex = left, pivotValue = array[pivotIndex], index =
left, i;

    swap(&array[pivotIndex], &array[right]);
    for(i = left; i < right; i++)
    {
        if(array[i] < pivotValue)
        {
            swap(&array[i], &array[index]);
            index += 1;
        }
    }
    swap(&array[right], &array[index]);
    return index;
}

int findMedianOfMedians(int* array, int left, int right)
{
    if(left == right)
        return array[left];

    int i, shift = 1;
    while(shift <= (right - left))
    {
        for(i = left; i <= right; i+=shift*5)
        {
            int endIndex = (i + shift*5 - 1 < right) ? i + shift*5
- 1 : right;
            int medianIndex = findMedianIndex(array, i, endIndex,
shift);
            swap(&array[i], &array[medianIndex]);
        }
        shift *= 5;
    }
    return array[left];
}
```

```

}

int findMedianIndex(int* array, int left, int right, int shift)
{
    int i, groups = (right - left)/shift + 1, k = left +
groups/2*shift;
    for(i = left; i <= k; i+= shift)
    {
        int minIndex = i, minValue = array[minIndex], j;
        for(j = i; j <= right; j+=shift)
            if(array[j] < minValue)
            {
                minIndex = j;
                minValue = array[minIndex];
            }
        swap(&array[i], &array[minIndex]);
    }
    return k;
}

void swap(int* a, int* b)
{
    int temp;
    temp = *a;
    *a = *b;
    *b = temp;
}

```

4. Principales características

Para demostrar las principales características de los lenguajes de programación funcionales modernos, vamos a utilizar el lenguaje Haskell. Este es un lenguaje funcional puro, de propósito general, que incluye muchas de las últimas innovaciones en el desarrollo de los lenguajes de programación funcional, como son las funciones de orden superior, evaluación perezosa (*lazy evaluation*), tipos polimórficos estáticos, tipos definidos por el usuario, encaje por patrones (*pattern matching*), y definiciones de listas por comprensión. Tiene además otras características interesantes como el tratamiento sistemático de la sobrecarga, la facilidad en la definición de tipos abstractos de datos, el sistema de entrada/salida puramente funcional y la posibilidad de utilización de módulos. Aunque sería imposible explicar con detalle cada una de estas características en este artículo, daremos una breve explicación de alguna de ellas. El lector interesado puede recurrir a un excelente libro en castellano (Ruiz 2004) y otros dos en inglés (Thompson 1999; Doets & van Eijck 2004) para profundizar en el tema.

4.1. Tipos de datos, tuplas y listas

Los lenguajes funcionales, en particular Haskell, tienen un rico conjunto de datos atómicos predefinidos, tales como los numéricos *int*, *integer* (de mayor precisión que el anterior), *float*, *double*, etc., y además los tipos *char* y *bool*.

El sistema de tipos de Haskell es uno de los más sofisticados que existen. Es un sistema polimórfico, que permite una gran flexibilidad de programación, pero a la vez mantiene la correctitud de los programas. Contrariamente a la mayoría de los lenguajes de programación procedimentales actuales, Haskell utiliza un sistema de inferencias de tipos, es decir sabe el tipo resultante de una expresión, por lo que las anotaciones de tipo en un programa son opcionales.

La parte más interesante de Haskell en relación con los tipos son los constructores, las tuplas y las listas. Una tupla es un dato compuesto donde el tipo de cada componente puede ser distinto. Una de las utilidades de este tipo de datos es cuando una función tiene que devolver más de un valor:

```
predSuc :: Integer → (Integer,Integer)
predSuc x = (x-1,x+1)
```

Las listas son colecciones de cero o más elementos de un mismo tipo (a diferencia de las tuplas que pueden tenerlos de diferentes). Los operadores utilizados son el [] y (:). El primero representa una lista vacía, y el segundo denominado *cons* o constructor, permite añadir un elemento al principio de una lista, construyendo la lista en función de agregar elementos a la misma, por ejemplo [Thompson99]:

```
4 : 2 : 3 : []
```

da lugar a la lista [4, 2, 3]. Su asociatividad es hacia la derecha. Un tipo particular de lista son las cadenas de caracteres.

Para terminar diremos que el constructor utilizado para declarar el tipo correspondiente a las distintas funciones es el símbolo →.

4.2. Patrones

Como vimos anteriormente, una función puede ser definida como:

```
f <pat1> <pat2> . . . <patn> = <expresión>
```

donde cada una de las expresiones $\langle pat1 \rangle \langle pat2 \rangle \dots \langle patn \rangle$ representa un argumento de la función, al que también podemos denominar como patrón. Cuando una función está definida mediante más de una ecuación, será necesario evaluar uno o más argumentos de la función para determinar cuál de las ecuaciones aplicar. Este proceso se llama en castellano encaje de patrones. En los ejemplos anteriores se utilizó el patrón más trivial: una sola variable. Como ejemplo, considérese la definición de factorial:

```
fact n = product [1..n]
```

Si se desea evaluar la expresión "fact 3" es necesario hacer coincidir la expresión "3" con el patrón "n" y luego evaluar la expresión obtenida a partir de "product [1..n]" substituyendo la "n" con el "3". Una de los usos más útiles es la aplicación de los patrones a las listas. Por ejemplo la siguiente función toma una lista de valores enteros y los suma:

```
suma :: [Integer] → Integer
suma []           = 0                -- caso base
suma (x : xs)    = x + suma xs      -- caso recursivo
```

Las dos ecuaciones hacen que la función esté definida para cualquier lista. La primera será utilizada si la lista está vacía, mientras que la segunda se usará en otro caso. Tenemos la siguiente reducción (evaluación):

```
suma [1,2,3]
⇒ { sintaxis de listas }
  suma (1 : (2 : (3 : [])))
⇒ { segunda ecuación de suma (x ← 1, xs ← 2 : (3 : [])) }
  1 + suma (2 : (3 : []))
⇒ { segunda ecuación de suma (x ← 2, xs ← 3 : []) }
  1 + (2 + suma (3 : []))
⇒ { segunda ecuación de suma (x ← 3, xs ← []) }
  1 + (2 + (3 + suma []))
⇒ { primera ecuación de suma }
  1 + (2 + (3 + 0))
⇒ { definición de (+) tres veces }
  6
```

Existen otros tipos de patrones

- Patrones Anónimos: Se representan por el carácter (`_`) y encajan con cualquier valor, pero no es posible referirse posteriormente a dicho valor. Ejemplo:

```
cabeza (x:_) = x
cola  (_:xs) = xs
```

- Patrones con nombre: Para poder referirnos al valor que está encajando, por ejemplo, en lugar de definir f como

```
f (x:xs) = x:x:xs
```

podría darse un nombre a $x:xs$ mediante un patrón con nombre

```
f p@(x:xs) = x:p
```

- Patrones $n+k$: encajan con un valor entero mayor o igual que k . El valor referido por la variable n es el valor encajado menos k . Ejemplo:

```
x ^ 0 = 1
x ^ (n+1) = x * (x ^ n)
```

En Haskell, el nombre de una variable no puede utilizarse más de una vez en la parte izquierda de cada ecuación en una definición de función. Así, el siguiente ejemplo:

```
son_iguales x x = True
son_iguales x y = False
```

no será aceptado por el sistema. Podría ser introducido mediante *if*:

```
son_iguales x y = if x==y then True else False
```

4.3. Funciones de orden superior

Los lenguajes funcionales modernos utilizan una poderosa herramienta de programación: las funciones de orden superior. Haskell en particular considera que las funciones pueden aparecer en cualquier lugar donde aparezca un dato de otro tipo (por ejemplo permitiendo que sean almacenadas en estructuras de datos, que sean pasadas como argumentos de funciones y que sean devueltas como resultados). Por ejemplo consideremos la siguiente función (Ruiz 04):

```
dosVeces :: (Integer → Integer) → Integer → Integer
dosVeces f x = f ( f x )
```

Entonces al evaluar las siguientes funciones, obtenemos:

```
MAIN> dosveces (*2) 10
40:: Integer
```

```
MAIN> dosveces inc 10
12:: Integer
```

También podemos agregar a estas funciones los llamados combinadores, que son funciones de orden superior que capturan un esquema de cómputo. Pongamos por ejemplo el combinador *iter*:

```
Iter :: (Integer → Integer → Integer) → Integer →
      (Integer → Integer)
Iter op e = fun
  where
    fun 0 = e
    fun m@(n+1) = op m (fun n)
```

Entonces podríamos definir las funciones factorial y sumatoria simplemente proporcionando los dos primeros argumentos en forma correcta:

```
factorial :: Integer → Integer
factorial = iter (*) 1
```

```
sumatoria :: Integer → Integer
sumatoria = iter (+) 0
```

Obsérvese que la estructura de ambas funciones es idéntica, salvo el operador (*,+).

4.4. Polimorfismo

Algunas funciones pueden tener argumentos de más de un tipo de datos, por ejemplo, la función identidad, que definimos en Haskell como:

```
Id :: a → a
```

donde *a* puede ser cualquier tipo. Entonces tenemos:

```
MAIN> id 'd'
'd' :: Char
MAIN> id true
true :: Bool
```

Otro ejemplo más complejo es una función que calcule la longitud de una lista:

```
long ls = IF vacia(L) then 0
else 1 + long(cola(L))
```

El sistema de inferencia de tipos infiere el tipo `long::[x] -> Integer`, indicando que tiene como argumento una lista de elementos de un tipo a cualquiera y que devuelve un entero. En un lenguaje sin polimorfismo sería necesario definir una función `long` para cada tipo de lista que se necesitase. El polimorfismo permite una mayor reutilización de código ya que no es necesario repetir porciones de código para estructuras similares.

Otro ejemplo, esta vez de una función estándar, definida en el PRELUDE², es la función `map`, que aplica una función a todos los elementos de una lista, devolviendo una lista con los resultados:

```
map  :: (a -> b) -> [a] -> [b]
mapf [] = []
map f (x : xs) = f x : map f xs

PRELUDE> map (i 2) [1,2,3] [1,4,9] :: [Integer]
PRELUDE> map toUpper "pepe" "PEPE" :: String
PRELUDE> map ord "pepe" [112,101,112,101] :: [Int]
```

4.5. Programación con evaluación perezosa

El método de evaluación (la forma en que se calculan las expresiones) se llama evaluación perezosa (*lazy evaluation*). Con la evaluación perezosa se calcula una expresión (parcial) solamente si realmente se necesita el valor para calcular el resultado. El opuesto es la evaluación voraz (*eager evaluation*). Con la evaluación voraz se calcula directamente el resultado de la función, si se conoce el parámetro actual.

Dada la evaluación perezosa del lenguaje es posible tener listas infinitas. En lenguajes que usan evaluación voraz (como los lenguajes imperativos), esto no es posible.

El siguiente ejemplo, tomado de Fokker (95), muestra la potencia de este concepto. Supongamos la siguiente función, para saber si un número es primo:

² El PRELUDE es el módulo principal del lenguaje, que contiene todas las funciones y operadores predefinidos, y el único que se carga por defecto cuando se ingresa al intérprete.

```
primo :: Int -> Bool
primo x = divisores x == [1,x]
```

Esta función es totalmente perezosa. Por ejemplo, si evaluamos *primo 30* pasa lo siguiente: Primero se calcula el primer divisor de 30: 1. Se compara este valor con el primer elemento de la lista [1,30]. Para el primer elemento las listas son iguales.

Después se calcula el segundo divisor de 30: 2. Se compara el resultado con el segundo valor de [1,30]: los segundos elementos no son iguales. El operador == ‘sabe’ que las dos listas nunca pueden ser iguales si existe un elemento que difiere. Por eso se puede devolver directamente el valor *false*, y así los otros divisores de 30 no se calculan.

4.6. Listas por comprensión

La notación de listas por comprensión permite declarar de forma concisa una gran cantidad de iteraciones sobre listas. Esta notación está adaptada de la teoría de conjuntos de Zermelo-Fraenkel. Sin embargo en Haskell se trabaja con listas, no con conjuntos. El formato básico de la definición de una lista por comprensión es:

```
[ <expr> | <qualif_1>, <qualif_2> . . . <qualif_n> ]
```

donde cada **<qualif_i>** es un cualificador. Existen dos tipos:

- Generadores: Un cualificador de la forma *pat<-exp* es utilizado para extraer cada elemento que encaje con el patrón *pat* de la lista *exp* en el orden en que aparecen los elementos de la lista. Un ejemplo simple sería la expresión:

```
? [x*x | x <- [1..10]]
[1, 4, 9, 16, 25, 36, 49, 64, 81, 100]
```

- Filtros: Una expresión de valor booleano, el significado de una lista por comprensión con un único filtro podría definirse como:

```
[e | condición ] = if condición then [e] else []
```

5. Conclusión

A mi parecer, la programación funcional es un paradigma de programación muy poderoso, que nos permite pensar de una forma completamente diferente cuando tenemos que resolver un problema,

más parecido a la lógica y matemática de alto nivel, que a las abstracciones artificiales de la máquina de Von Neumann. Digo que se debería enseñar en los primeros años de las universidades, y que nos abre definitivamente un camino para mejorar la Ingeniería del Software, ya que sus programas carecen de efectos colaterales, y otros desafortunados productos de la arquitectura tradicional de las computadoras, siendo sencillamente evaluaciones. Sin embargo, queda mucho todavía por recorrer para que este tipo de lenguajes sea de utilización en proyectos cotidianos, pero creo que un primer paso es la enseñanza de este paradigma. Hay experiencias variadas en este sentido, inclusive algunas en nuestro país (Szpiniak 1998), y en los ámbitos académicos de otros países (Chakravarty 2004, Thompson 1997, FDPE 2008), por lo que creo vale la pena su promoción.

Bibliografía

- Backus, J. Can programming be liberated from the von Neumann style? A functional style and its algebra of programs, *Communications of the ACM*, August 1978, Vol 21 (8)
- Chakravarty, M. M. and Keller, G., The risks and benefits of teaching purely functional programming in first year. *Journal of Functional Programming* 14, 1 (Jan. 2004), 113-123
- Doets, K. y van Eijck, J. *The Haskell Road to Logic, Math and Programming*, King's College Publications, Londres, 2004.
- FDPE 08: Proceedings of the 2008 international workshop on Functional and declarative programming in education, ACM, New York, USA, 2008.
- Fokker, J. *Functional Programming*, Department of Computer Science, Utrecht University, 1995
- Iverson, K. *A Programming language*, John Wiley and Sons, New York, 1962
- Labra G., J. *Introducción al Lenguaje Haskell*, Universidad de Oviedo, Departamento de Informática, 1998
- Ruiz, B., Gutiérrez, F., Guerrero, P. y Gallardo, J.E. *Razonando con Haskell, Un curso sobre programación funcional*, Thompson-Paraninfo, Madrid, 2004

- Szpiniak, A. F., Luna, C. D., and Medel, R. H. Our experiences teaching functional programming at University of Río Cuarto (Argentina). *SIGCSE Bulletin*, 30(2) (Jun. 1998), 28-30
- Thompson, S. Where Do I Begin? A Problem Solving Approach in teaching Functional Programming. In H. Glaser, P. H. Hartel, and H. Kuchen, Eds., *Proceedings of the 9th International Symposium on Programming Languages: Implementations, Logics, and Programs: Special Track on Declarative Programming Languages in Education* (September 3-5, 1997). Lecture Notes in Computer Science, vol. 1292. Springer-Verlag, London, 323-334
- Thompson, S. *Haskell: The Craft of Functional Programming*, Addison-Wesley, Boston, MA, 1999
- Wikipedia contributors, "Quicksort," *Wikipedia, The Free Encyclopedia*, <http://en.wikipedia.org/w/index.php?title=Quicksort&oldid=250850445> (consultada 24 Noviembre 2008).

Los Valores Éticos y Humanos en la Carrera de Ingeniería Civil de la Facultad de Ingeniería e Informática de la UCASAL

Eduardo José Nelson¹

wwwwejn@yahoo.com.ar

Resumen

Este trabajo constituye un sondeo exploratorio sobre valores éticos y humanos realizado en la Carrera de Ingeniería Civil de la UCASAL, a fin de conocer acerca de las concepciones que de los mismos sustentan los alumnos, y la importancia que tanto docentes como alumnos le asignan a los valores en la formación del ingeniero civil. También se busca conocer qué valores se están presentando en el desarrollo de las clases de las distintas asignaturas de la carrera, e identificar las distintas metodologías que los docentes utilizan para realizar dicha presentación. Se trabajó con encuestas a docentes y alumnos, y análisis de los programas de todas las asignaturas de la carrera. En el tratamiento y análisis de datos se recurrió a la estadística y al análisis de contenido.

Surgieron como conclusiones relevantes que, tanto los docentes como los alumnos asignan fundamental importancia a la presentación de valores en la carrera, consideran honestidad, responsabilidad y respeto como los valores más importantes en el contexto de la Carrera y de la Facultad, y privilegian las charlas formales e informales sobre aspectos de la práctica profesional como canales de presentación de valores, aunque reconocen que el ejemplo de los docentes en su diaria interacción con los alumnos es también un medio de relevancia en la transmisión de valores.

Palabras Claves: valores éticos y humanos, educación universitaria católica, ingeniería civil

¹ Eduardo Nelson es Ingeniero Civil por la Universidad Nacional de Salta y Magister en Educación por la Universidad Católica de Salta. Es Profesor Titular de la cátedra Fundaciones en la Facultad de Ingeniería e Informática de la UCASAL. El presente artículo es un resumen y adaptación de la investigación realizada para su Tesis de Maestría en Educación (2007).

1. Introducción

El tema de los valores en la educación no es nuevo, en el sentido de que se trata de algo ligado a la función primordial de la educación, cualquiera sea su nivel. Sin embargo, se asiste hoy a una explosión de estudios, ponencias y debates sobre el tema. Las causas son muchas y complejas, pero, sin duda, están todas relacionadas con la situación de cambios y competitividad en el mundo del trabajo. Ello ha traído como consecuencia la conformación de un nuevo orden en las relaciones interpersonales, caracterizadas por la urgencia, la eficiencia, etc. Esto implica para las instituciones educativas y los educadores un nuevo desafío: cómo preparar para el mundo competitivo del trabajo buscando al mismo tiempo constituirse en promotores de lo esencialmente humano en esas relaciones, con una visión integral.

Las universidades habían sido concebidas como el lugar donde se formaba el futuro profesional, y donde los aspectos humanísticos quedaban relegados. En la concepción actual de la educación superior, la universidad debe ser el espacio donde el estudiante, a la par que adquiere los conocimientos de la formación científico- tecnológica correspondientes a la carrera elegida, recibe también formación integral, y, como parte de ella, la formación y desarrollo de valores, conducto por el cual se capacita para resolver, de modo responsable y autónomo, las alternativas o conflictos de valores que se le presenten. Es decir, en palabras de Chávez y Baeza, entender a la educación superior como “un eje de desarrollo social integral” (Chávez & Baeza 2003).

Conocer los valores reales (no sólo los declarados en sus estatutos) de la Institución, y su jerarquía, es de gran interés para la Facultad y para toda la comunidad, porque cuanto más claramente se conozca y comprenda el conjunto de valores, más intensa será su incidencia en la comunidad.

Disponer de estudios sobre los valores que se están fomentando en la Facultad permite también diseñar estrategias pedagógicas adecuadas que disminuyan la posibilidad de una distorsión de los mismos en la formación de los educandos.

Al mismo tiempo, un mejor conocimiento de cuáles son los valores en los que los docentes ponen mayor énfasis puede ser presentado hacia la sociedad como una fortaleza institucional, en la medida en que represente un aspecto distintivo de la Institución.

Teniendo presente que al momento de diseñar este trabajo no se tenía una referencia clara acerca del estado actual del tema valores en la Facultad, se consideró pertinente partir del conocimiento de cuáles son los valores en general, y éticos y humanos en particular, que tanto docentes como alumnos de la Carrera de Ingeniería Civil de la Facultad de Ingeniería de la UCASAL expresan durante el desarrollo de las clases de las distintas asignaturas, y la importancia que les asignan. Específicamente, se focaliza en valores éticos y humanos debido a las características de la Universidad.

De allí la importancia de la investigación realizada: constituirse en una referencia, un primer paso, que permita conocer en qué estado se encuentra el tema de los valores en la Facultad de Ingeniería e Informática de la UCASAL, para desde esa base avanzar en el mejoramiento de las prácticas docentes.

2. Marco teórico

- El fenómeno educativo es un hecho social, y su abordaje integral está abierto a la interdisciplinariedad.
- En este trabajo, se encuadra el estudio a partir de la teoría de los valores, como base del tema, y de elementos de la psicología social y la pedagogía.

2.1. Los valores

“La vida no se hace sólo de hechos, sino que se hace de hechos valorados, de decisiones valoradas” - Adela Cortina

Mucho se ha hablado, se habla y se va a hablar sobre los valores. Se trata, sin dudas, de un tema por lo menos controvertido, sino polémico, ya que hace referencia a un concepto difícil de asir (por la carga de subjetividad que conlleva) y más aún de aplicar bajo criterios uniformes. Como bien lo destaca López Quintás: “Los valores son vertientes de la realidad, ambiguas por naturaleza, carentes de contornos definidos, rebosantes de dimensiones, y, como tales, muy difíciles de reducir a un estudio analítico preciso y riguroso.” (López Quintás 1992).

Ya desde los albores de la humanidad, los hombres se han orientado hacia algunas cosas y han rechazado otras, o sea, han

manifestado preferencias, las cuales rigen las prácticas sociales en sus diversos ámbitos.

Las personas desarrollan su existencia, eligen, toman decisiones, etc., basándose en valores. El ser humano no tiene una actitud indiferente y pasiva frente a la realidad, sino que la percibe bella o fea, buena o mala, agradable o penosa, etc. No sabe vivir sin valorar. Siempre, cuando toma una decisión, e incluso, cuando no la toma, está expresando su sistema de valores.

Al mismo tiempo, las personas se han planteado la necesidad de ponerse de acuerdo sobre ciertos principios que promuevan una armoniosa vida social. En ese sentido, los valores pueden identificarse como preferencias conscientes e inconscientes que rigen para la mayoría de los integrantes de una sociedad y que están socialmente regulados.

En el devenir histórico, esta aspiración se fortaleció y complejizó, hasta transformarse en una verdadera teoría de los valores, a nivel epistemológico, la cual tendría como objeto de estudio lo que de común tienen todos los valores.

El tema de los valores, entonces, tiene una importancia real y práctica, más allá de las distintas posiciones teóricas desarrolladas hasta ahora.

Las corrientes subjetivistas o relativistas, con exponentes como Meinong, Ayer, Perry, Russell Ehrenfels, Sartre y Carnap, plantean que los valores son subjetivos, que dependen de la valoración que cada hombre les dé, de acuerdo a su marco de referencia (cultura, edad, sexo, educación, religión, etc.), que cambian con la historia y el momento circunstancial, incluso hasta con el estado de ánimo. En esta perspectiva, el mundo es valorado de acuerdo a la propia percepción.

A su vez, las corrientes objetivistas o absolutistas, entre cuyos representantes figuran Scheler, Hartmann y Fabelo, señalan que los valores, disociados del ser, se convierten en la norma absoluta, en deber ser de todas las acciones humanas. Para ellas, los valores son objetivos, y no están sujetos a la cultura, al tiempo, a la ciencia ni a otras variables. Son externos al hombre, no dependen de él, están de acuerdo a la ley natural, son inmanentes, trascendentes y atemporales.

En realidad, ambas posiciones tienen un criterio válido, ya que la persona valora las cosas, y el objeto ofrece un fundamento para ser

valorado. Esta síntesis superadora es la que sostiene, entre otros, Risieri Frondizi, para quien los valores surgen de la reacción de un sujeto frente a propiedades de un objeto, en una situación física humana concreta.

Los valores comportan un deber ser. Pero los valores éticos, además de ese deber ser, implican un deber hacer; lo propio de ellos es el imperativo de acción que comportan, es decir, son unos valores que se imponen como pautas de la acción de la persona. Dependen de la libertad humana, y debido a esa dependencia, los valores éticos solo pueden atribuirse a las personas, no a las cosas.

Diferentes puntos de vista son utilizados para clasificar los valores éticos. Si se considera el nivel de mayor o menor incidencia social, puede hablarse de valores éticos públicos o cívicos y de valores éticos privados o personales. Justicia y bien serían los valores fundamentales o básicos; todos los otros valores éticos estarían representando distintas concreciones de éstos.

Así, dentro de los valores éticos públicos o cívicos pueden incluirse a: igualdad, libertad, solidaridad, disposición al diálogo, paz, etc., y entre los valores éticos de índole personal o privada, pueden mencionarse a felicidad, ternura, amistad, creatividad, autenticidad, etc.

Los valores humanos son aquellos que perfeccionan al hombre en lo propio de su condición humana, haciéndolo más humano, con mayor *calidad* como persona y atendiendo a su dignidad como tal. Estos valores surgen en el individuo por influjo y en el seno de *la familia*, y entre ellos están el *respeto*, la *tolerancia*, la *honestidad*, la *lealtad*, *el trabajo*, la responsabilidad, etc., y son los que luego ayudarán a la eficaz inserción como personas valiosas para el bien de la sociedad.

El tema de los valores cobra fundamental importancia si se lo analiza a la luz de la misión evangelizadora de la Iglesia, muy especialmente cuando se lo referencia a la situación de los más necesitados. *“Evangelizar es hacer lo que hizo Jesucristo,... que vino a evangelizar a los pobres...Esta es la fundamentación que nos compromete en una opción evangélica y preferencial por los pobres...”* (CELAM 1992:125).

Partiendo de esa opción preferencial por los pobres, desde la Doctrina Social de la Iglesia se impulsa la promoción de valores como la laboriosidad, el compartir, la honestidad y el sentido ético-religioso de la vida, apuntando a la formación integral de las personas, en una

sociedad más fraterna: *“Por tanto, la finalidad de esta doctrina de la Iglesia –que aporta su visión propia del hombre y de la humanidad- es siempre la promoción y liberación integral de la persona humana,...”* (CELAM 1979:170).

Es importante mencionar un concepto que considera la Iglesia para la promoción de la dignidad de la persona, y es el de subsidiaridad, aplicado al ámbito de la sociedad civil: *“Conforme a este principio, todas las sociedades de orden superior deben ponerse en una actitud de ayuda (“subsidium”) –por tanto, de apoyo, promoción, desarrollo- respecto a las menores.”* (Pontificio Consejo Justicia y Paz, 2005:127).

En el ya citado Documento de Santo Domingo, queda expresado el compromiso de la Iglesia con la defensa de la vida, la justicia y la solidaridad (CELAM 1992:120-121) como valores indispensables para la superación del utilitarismo y el individualismo. La solidaridad ocupa un primer plano en la búsqueda del bien común, de la distribución equitativa de los bienes y la promoción integral de los pueblos, tal como lo expresa el Papa Juan Pablo II: *“Partiendo del Evangelio, se ha de promover una cultura de la solidaridad que incentive oportunas iniciativas de ayuda a los pobres y a los marginados,...”* (Juan Pablo II 2000:72).

Como lo indica el mismo Papa, la finalidad de la solidaridad es la paz: *“El objetivo de la paz, tan deseada por todos, sólo se alcanzará con la realización de la justicia social e internacional, y además con la práctica de las virtudes que favorecen la convivencia y nos enseñan a vivir unidos, para construir juntos, dando y recibiendo, una sociedad nueva y un mundo mejor.”*(Juan Pablo II, 1987:24).Y al hablar de la solidaridad, se está hablando también de la caridad, elemento fundante del compromiso de la Iglesia con la promoción humana.

2.2. La educación y los valores

El estudio y la profundización sobre los valores humanos resulta cada día de mayor importancia para las ciencias sociales. Por una parte, porque las percepciones de valor de los individuos son reflejos de la posición social de estos en la sociedad, y por otra, porque de cierta manera la formación de hábitos, cualidades y sentimientos depende de los valores que se compartan o transmitan. Normalmente, la sociedad y

la comunidad generan y se sostienen por una serie de valores compartidos.

Como lo indica Inalvis Rodríguez Reyes: *“Es la familia el primer actor de la construcción de valores, pues es en ella donde precisamente se generan, forman y asimilan los primeros valores del individuo”* (Rodríguez Reyes 2001). Pero también, entendiendo a las instituciones educativas como el espacio que la sociedad ha legitimado para que en él se desarrollen acciones tendientes no sólo a transformar y producir nuevos saberes, sino también a identificar, interpretar y transmitir los contenidos de la cultura, puede seguirse la gran responsabilidad que les cabe como continuadoras del proceso educativo y de socialización iniciado en la familia.

Hoy, la formación de valores es tarea prioritaria y estratégica no sólo de la familia, sino también de las instituciones educativas, por diversas e impostergables razones:

- Las circunstancias socioeconómicas adversas y el avance del consumismo, obligan a tener mayor celo en la defensa de la espiritualidad y de los valores humanos.
- Cuidar los valores se constituye en algo esencial para rescatar la identidad y las tradiciones.
- A partir de sólidos valores puede hacerse frente a situaciones sociales de urgente demanda: prostitución, drogadicción, corrupción, violencia, etc.

La educación, incluso la universitaria, debe estar comprometida con valores éticos. Todo proyecto educativo que pretenda desentenderse de los valores se despertaliza y está renunciando a su razón de ser. Si, como lo indica Victoria Camps, educar es *“... formar el carácter, en el sentido más extenso y total del término.”* (Camps 1994: 11), no puede quedar al margen de la función de las instituciones educativas la presentación y promoción de los valores.

Ahora bien, si los valores atraviesan de lado a lado toda institución educativa, junto con sus estructuras y protagonistas, cada institución debe ser muy consciente de los valores que asume como propios. Y es aquí donde entran a participar de manera decisiva la misión, la visión y el ideario de cada institución, que le comunicarán un sello propio a la elección de los valores que dirijan su accionar.

2.3. La educación universitaria católica y los valores

La Universidad está inmersa en la sociedad humana, es parte de ella, y debe ser instrumento cada vez más eficaz de progreso cultural tanto para las personas como para la sociedad, y no puede estar ajena al compromiso de estudio y búsqueda de soluciones para los problemas urbanos, sociales, económicos y políticos actuales, los que, en el fondo, son problemas de orden ético. De allí, entonces, la íntima relación entre la tarea de la Universidad y la problemática de los valores.

Los valores que el estudiante trae de su casa, de la escuela o de su comunidad, o bien se confirman y se profundizan en la universidad, o se descalifican, explícita o implícitamente, perdiendo su sentido, con las consecuencias buenas o malas que lo uno o lo otro traen para sus vidas personales y para la sociedad.

La Universidad, en particular la Universidad Católica, no es sólo enseñanza superior, no es sólo medios para transmitir dicha enseñanza, sino que también es búsqueda de la verdad y enseñanza de la misma, o en palabras de Juan Pablo II: *"el gozo de buscar la verdad, de descubrirla y de comunicarla en todos los campos del conocimiento."* (Juan Pablo II, 1990:1); es decir, no debe quedar en la mera transmisión de saberes que preparen para un trabajo.

La Universidad Católica tiene la responsabilidad no sólo de formar al futuro profesional en lo que ha elegido como medio de inserción en la sociedad, sino también de presentarle los principios y valores cristianos, que el estudiante trae a la universidad, a un nivel universitario y superior. Así, la Universidad Católica estará mostrándose como superadora de la corriente de pensamiento que trata los valores refiriéndolos a lo subjetivo, útil y pragmático, en la cual están las raíces de muchas de las injusticias contemporáneas.

Por ello es que así como el ambiente científico debe envolver a la Universidad, de igual manera debe estar presente en la misma el ambiente ético y de los valores; tanto en la investigación como en la docencia debe estar presente la preocupación por las implicaciones éticas y morales inherentes tanto a los métodos como a los descubrimientos y aplicaciones técnicos. Como desde el Documento de Puebla se destaca: *"... debe la misma universidad católica ser ejemplo de cristianismo vivo y operante. En su ámbito, todos los miembros de los distintos niveles –aún aquellos que sin ser católicos aceptan y*

respetan estos ideales-, deben formar una familia universitaria.” (CEPAL 1979:293)

Así, al alumno, futuro profesional, no le faltarán en su educación integral los datos de la fe, la moral y los valores, desde la identidad católica, necesarios para su visión del mundo y de la cultura en la que estará inserto y en la que desarrollará su tarea, apuntando a la construcción de la “... *comunidad formada en torno al bien común nacional.*” (Fernández & Galli 2004:34).

2.4. La Facultad de Ingeniería e Informática de la UCASAL y los valores en ingeniería

Las ingenierías son carreras profesionales que se insertan directamente en el medio productivo, contribuyendo en alto grado a la generación de riquezas y al incremento de la productividad, vías fundamentales para un crecimiento sostenido y armónico, tanto en lo económico como en lo social.

¿Cuáles serían los valores que cabría esperar posea un ingeniero civil? En términos generales, y con la aclaración de que el criterio para seleccionarlos se basa en una lectura personal de la realidad y de la experiencia laboral en el medio, serían los siguientes:

- Desde lo personal:
 - Respeto por la dignidad de las personas
 - Responsabilidad
 - Compromiso
 - Honestidad
 - Lealtad
- Desde lo social:
 - Respeto al medio ambiente y a las leyes
 - Solidaridad
 - Participación cívica
 - Laboriosidad
 - Prudencia

La UCASAL define, desde sus Estatutos, como finalidad “...*la formación integral: humanista, democrática y cristiana, técnica, científica y profesional de sus estudiantes,...*” (Título 2, art. 4). Es decir, aplicado a la formación del ingeniero, se reconoce la importancia de la formación

humanística, consciente de que el compromiso del ingeniero es servir a la sociedad.

En consonancia con esa finalidad, la Facultad de Ingeniería e Informática de la UCASAL, debe brindar una formación que busque potenciar y desarrollar los valores de la persona, para lograr un profesional formado no sólo en lo científico y técnico, sino también en lo humanístico, capaz de servir a sus semejantes y al desarrollo de la región donde llevará a cabo sus actividades.

Hoy más que nunca, la formación humanística debe atravesar todos los niveles educativos, incluso el nivel superior, pero no sólo con el dictado de materias específicas, sino también definiendo una práctica a seguir por parte de todos los profesores, para inducir en los alumnos valores y compromiso social.

En ese sentido, los docentes deben asumir el desafío que su tarea les impone, aunque el logro de la formación que se pretende no debe ser responsabilidad únicamente de los profesores que imparten asignaturas, sino también de la Facultad en su conjunto: autoridades, docentes, administrativos y auxiliares.

2.5. El cómo de la transmisión de valores. Rol del docente.

“El maestro enseña más con lo que es que con lo que dice”
Soren Kierkegaard.

El hecho educativo, por su dimensión social, implica responsabilidades éticas al profesor, y esto es así porque tiene que ver con el quehacer práctico, con el comportamiento, y no siempre lo que se desea y lo que se hace está en correspondencia con los valores establecidos en la sociedad; por lo tanto, para educar en los valores, primero éstos deben ser apropiados por el profesor, ser parte de su vida cotidiana, ponerlos en práctica con gozo y alegría; sólo a partir de esa forma de entender las cosas se puede hablar de un docente preparado para desarrollar su actividad específica: educar.

No es posible hoy separar en el proceso de aprendizaje de los alumnos, el área cognitiva por un lado, y los aspectos emocionales, valorativos y actitudinales por otro. Si se considera que toda interacción vincular (tal como la que se da en la institución educativa) promueve o inhibe actitudes y se enmarca en un cuadro valorativo, se concluirá que la intervención docente jamás puede entenderse como neutra.

Lo importante entonces será no dejar librado este aspecto a la espontaneidad, sino promover activa y deliberadamente acciones para facilitar la construcción de actitudes que permitan al joven una interacción social fundada en la cooperación, la solidaridad, la aceptación del otro y la conciencia social.

De esta manera los alumnos no sólo estarán vivenciando valores sustanciales de la persona, sino que también se promoverá una reacción contra los cotidianos ejemplos de disvalores que la cultura de este siglo les ofrece (especialmente a través de los medios masivos de comunicación), intentando rescatar valores tradicionales; esto no es una tarea fácil, y no se adquiere sólo a partir de las palabras docentes.

La propuesta didáctica para la promoción de valores debe propender a la construcción personal de convicciones, en el sentido que le da Onetto: es la "*certeza normativa que regula la acción*" (Onetto 1997:73), que permite ese sí o ese no práctico, fuerte y consistente, ante una situación de la vida de la persona.

En el espacio de interacción que implica enseñar, el posicionamiento que tenga el docente ya lo convierte en modelo de identificación axiológica. Y es precisamente a partir del ejemplo y de la comunicación como podrá llevarse adelante una educación en valores efectiva y provechosa.

2.6. Antecedentes de investigaciones sobre el tema.

En un artículo del año 2006 (Parra de Gallo 2006) la Ing. Beatriz Parra de Gallo, tomando como ejemplo la carrera de Ingeniería en Informática de la Universidad Católica de Salta, pretende analizar si el profesional ingeniero que se está formando en la universidad argentina, tiene una formación humanística, en el sentido tanto de la formación interior como de la formación profesional del ingeniero. Concluye en que hay una falta de formación humanística en la profesión de ingeniero, y propone empezar a formar ingenieros que piensen en el otro, más que en la técnica.

Otra referencia local, aunque en otro ámbito dentro de la UCASAL (Facultad de Artes y Ciencias) la constituye de la Tesis de Maestría de Eleonora M. Naranjo titulada "La formación integral en valores de los alumnos de la carrera de Psicología de la Universidad Católica de Salta" (Naranjo, 2006), trabajo descriptivo-explicativo no experimental que busca verificar si la formación que reciben los alumnos de la

carrera de Psicología de la UCASAL puede considerarse como formación integral en valores. Considera los valores desde un enfoque antropológico-psicológico-humanista. Trabaja con cuestionarios y encuestas, aplicados a docentes y alumnos del último año de la carrera, y observación de clases. Verifica parcialmente el supuesto de partida de que los alumnos del último año de la carrera están formados en valores, y adhiere a la figura del docente como sujeto que debe encarnar los valores.

En cuanto a antecedentes registrados en otros contextos, constituyen trabajos de consulta y referencia los que en la bibliografía se indican bajo el título: "Tomados de Internet". En particular, González Maura (1999) aborda la fundamentación de la concepción del profesor universitario como un orientador en la educación de valores. Analiza a través de un ejemplo en una situación de aprendizaje cómo se manifiesta la función orientadora del profesor en la educación en valores en la formación profesional del estudiante universitario, en contraposición con la visión muy común del docente entendido como "facilitador del aprendizaje". Ubica al profesor orientador como aquel que diseña las situaciones de aprendizaje que estimulan la formación y desarrollo de valores como reguladores de la actuación del estudiante, en condiciones de interacción social.

El trabajo de Martínez Martín y colegas (2003) en una primera parte trata sobre las funciones que se le atribuyen en hoy a la universidad, y plantea la necesidad de un cambio de cultura docente en la universidad. Los autores subrayan la necesidad de elaborar una propuesta de formación en valores éticos para la educación superior, que busque formar un ciudadano interesado en construir una sociedad más equitativa. Concluyen planteando un modelo de aprendizaje ético para la formación en valores en el mundo universitario, basado en una perspectiva socioconstructivista del desarrollo moral de la persona, buscando la autonomía y la responsabilidad sobre el propio accionar, en una propuesta transversal en la cual el docente es visualizado como comprometido con su función formadora.

3. Metodología

"Investigar significa pagar la entrada por adelantado, y entrar sin saber lo que se va a ver" R. Oppenheimer

3.1. Descripción

Se trata de una investigación cuanti-cualitativa (Bisquerra 2004) de tipo exploratorio (Hernández Sampieri et al 2006). Se trabajó buscando sondear cuáles son los valores que se están presentando en la Facultad de Ingeniería e Informática de la UCASAL, y de qué manera se realiza esa presentación.

Constituye un primer acercamiento al tema, para conocer sobre el mismo en el ámbito de la Facultad. Como instrumentos, se optó por los cuestionarios o encuestas con preguntas de respuesta abierta. También se tomaron para su estudio y análisis los programas de todas las asignaturas de la carrera.

3. 2. Acciones

- Se analizaron los programas de las distintas asignaturas de la Carrera de Ingeniería Civil y se realizó una búsqueda y explicitación de los valores que se proponen en cada uno. Si bien los valores pueden no aparecer explicitados en los programas, se desea dejar constancia de ese hecho como indicador de la importancia que desde la cátedra se le asigna al tema.
- Se trabajó con encuestas, realizando cuestionarios a docentes y alumnos, sondeando qué valores se han transmitido y también cómo se ha realizado esa presentación. Dichas encuestas tuvieron el carácter de anónimas.
- Luego del procesamiento y análisis correspondiente, realizado a través de la estadística y del análisis de contenido, se establecieron conclusiones y se presentaron sugerencias.

Se eligió la encuesta a través de cuestionarios debido a la facilidad y rapidez de su aplicación, además de su pertinencia para los fines del trabajo. Al ser encuestas anónimas, se tiene un mayor grado de seguridad de que las respuestas no estén influenciadas por prejuicios. La selección de las preguntas del cuestionario se realizó en total correspondencia con los objetivos del trabajo. Se limitó el número de preguntas del cuestionario (5 para los alumnos, 4 para los docentes), por dos motivos: 1. Para que al encuestado no le resultara tedioso o molesto responder, cosa que puede ocurrir cuando el número de preguntas es grande. 2. Para facilitar el posterior procesamiento y

análisis de las respuestas, teniendo en cuenta que las mismas son abiertas.

El cuestionario para los alumnos fue el siguiente:

1. ¿Qué son los valores para Ud.?
2. Mencione los 5 valores más importantes en su vida.
3. ¿Qué importancia le asigna Ud., en su formación como futuro ingeniero a que desde las distintas cátedras de la carrera de Ingeniería Civil se presenten o transmitan valores?
4. ¿Se presentan o transmiten valores en las distintas cátedras que Ud. cursó? Si es afirmativo, ¿cuáles valores?
5. En caso de que haya contestado afirmativamente la pregunta anterior, ¿de qué forma transmiten o presentan valores los docentes? (Es decir, con qué metodología lo hacen, en qué actitudes del docente pudo Ud. darse cuenta que estaba transmitiendo o presentando un determinado valor)

El cuestionario para los docentes fue el siguiente:

1. ¿Qué importancia le asigna Ud., en la formación del futuro ingeniero de nuestra Facultad, a la presentación o transmisión de valores?
2. Según su opinión, ¿esa presentación de valores debería ser transversal, entre todas las materias, o propia de una determinada materia en la carrera? ¿Por qué?
3. ¿Presenta o transmite Ud. valores desde su cátedra? ¿Cuáles valores destaca Ud. como los más relevantes que desde su cátedra se presentan o transmiten?
4. ¿De qué forma presenta o transmite valores en su cátedra? (Es decir, con qué metodología lo hace)

El análisis de los programas de las materias de la Carrera tiene por objeto, en primer lugar, dejar constancia de la explicitación o no que los docentes realizan en referencia a si presentarán valores durante el desarrollo de sus clases, y en ese caso, cuáles.

3.3. Población y muestra

- a) Respecto a las encuestas a los alumnos.

- Universo: Alumnos de la Carrera de Ingeniería Civil, Facultad de Ingeniería, UCASAL, 2006-2007, cursos 1º a 5º año, total: 105 alumnos.
- Muestra: Se trabajó con encuestas realizadas a 39 alumnos de distintos años de la Carrera, que representa el 37,14 % del total de alumnos cursantes. Debido al objeto de estudio, la cantidad mencionada se consideró adecuada para trabajar.

El contar con la respuesta de todos los alumnos de la Carrera es prácticamente imposible, debido a la aleatoriedad de su asistencia en el momento de aplicación de los instrumentos. Ello lleva a que se realice la encuesta a un grupo menor, la muestra, el cual debe ser elegido de manera de que cumpla con las condiciones de representatividad y tamaño suficiente. En el presente trabajo se consideró un muestreo por cuotas (Bisquerra, 2004:81), buscando que el 35 % de los alumnos de cada año de la Carrera realice el cuestionario, porcentaje que para los fines del trabajo resultó suficiente. La representatividad se tuvo en cuenta seleccionando al azar ese 35 %, con la única condición de pertenecer al curso pretendido.

b) Respecto a las encuestas a los docentes.

- Universo: Docentes de la Facultad de Ingeniería, UCASAL. Del total de 100 docentes, 60 desarrollan sus tareas en asignaturas de la Carrera de Ingeniería Civil.
- Muestra: Se encuestó a 15 docentes, lo cual representa el 25 % del total de los que desempeñan sus tareas en asignaturas de la Carrera de Ingeniería Civil. Fueron elegidos al azar, aunque considerando 3 por cada año de la Carrera y en distintas asignaturas.

c) Respecto a los programas de las asignaturas.

Se consideró 2004 como año de recopilación, debido a que para ese año se encontraron disponibles los programas de todas las materias.

3.4. Tratamiento de los datos y análisis de la información

Debido a la naturaleza de los datos (textos), se recurrió al análisis de contenido y a la estadística.

El análisis de contenido se encuentra en un punto medio entre técnicas cuantitativas y técnicas cualitativas. Siguiendo a Krippendorff,

se entiende al análisis de contenido como a una "*técnica de investigación destinada a formular, a partir de ciertos datos, inferencias válidas que puedan aplicarse a su contexto*" (Krippendorff 1997:28).

No es intención realizar aquí la descripción completa de la técnica, para lo cual puede consultarse el autor citado, pero sí es importante recordar algunos aspectos de su aplicación que son pertinentes al trabajo en curso.

Los elementos sobre los que se focaliza el estudio, constituyen las unidades de análisis, y se pueden distinguir tres tipos de unidades en el análisis de contenido:

- Las unidades de muestreo son las unidades materiales que, en su conjunto, conforman la realidad a investigar y que deben, en algún momento, ser recogidas y conservadas para permitir el estudio. En este trabajo, estarían representados por las encuestas.
- Las unidades de registro son las partes analizables en que se divide la unidad de muestreo, segmentos de contenido que pueden ser categorizados, medidos, descritos, analizados e interpretados de manera sistemática. Aquí estarían representados por las respuestas a las preguntas.
- Las unidades de contexto son unidades más amplias que las unidades de muestreo, contienen la información contextual. Estarían dadas por las aulas y la Facultad.

Un momento fundamental del análisis de contenido es la construcción de las categorías significativas en las cuales se agruparán los datos, tarea que se realiza considerando el tema de estudio y los objetivos de la investigación.

La etapa final, de interpretación de los datos obtenidos, es un proceso que implica un permanente diálogo entre los objetivos de la investigación, el marco teórico del tema y el modo de tratamiento que se le dé a la información, teniendo siempre presente el contexto.

4. Resultados y Análisis

4.1. Alumnos

4.1.1. Clasificación y tabulación de las encuestas

En el caso de la primera pregunta, agrupando las respuestas según núcleos semánticos, resultaron las siguientes categorías:

CATEGORÍA	FRECUENCIA	%
"Conceptos o bases o guías para ser en la vida"	13	33,3
"Importancia que cada uno le da a las cosas"	10	25,7
"Lo que nos hace o define como personas"	8	20,5
"Enseñanzas que se adquieren en la vida"	6	15,4
"Lo que se debe hacer"	2	5,1
	39	100

Para la segunda cuestión, se consideraron las siguientes categorías:

CATEGORÍA	FRECUENCIA	%
Honestidad	22	12,0
Respeto	17	9,3
Responsabilidad	15	8,2
Familia	15	8,2
Amistad y compañerismo	8	4,4
Educación y formación	8	4,4
Dignidad	6	3,3
Humildad	6	3,3
Ética (profesional)	6	3,3
Solidaridad	5	2,7
Verdad	5	2,7
Sinceridad	4	2,2
Puntualidad	4	2,2
Moral	4	2,2
Otros	58	31,7
	183	100

Para la tercera pregunta, se consideraron las siguientes categorías:

CATEGORÍA	FRECUENCIA	%
Importante o muy importante	37	94,9

Poco importante	2	5,1
	39	100

Para la cuarta pregunta, se consideraron dos grupos de respuestas: En primer lugar, las que se referían al Sí o No ante la pregunta: “¿Se transmiten valores en las distintas cátedras?”, y luego, las que respondían cuáles valores se transmiten.

Categorías para: “¿Se transmiten valores en las distintas cátedras de la carrera?”

CATEGORÍA	FRECUENCIA	%
Sí	33	84,6
No	6	15,4
	39	100

Categorías para: “¿Cuáles valores se transmiten?”

CATEGORÍA	FRECUENCIA	%
Honestidad	15	26,8
Responsabilidad	15	26,8
Respeto	5	8,8
Esfuerzo	4	7,1
Solidaridad	3	5,3
Convivencia	2	3,6
Humildad	2	3,6
Actitud	1	1,8
Puntualidad	1	1,8
Verdad	1	1,8
Eficiencia	1	1,8
Confianza en uno mismo	1	1,8
Corrección	1	1,8
Ética	1	1,8
Familia	1	1,8
Diálogo	1	1,8
Bondad	1	1,8
	56	100

En el caso de la quinta pregunta, se consideraron estas categorías, agrupando las respuestas según núcleos semánticos:

CATEGORÍA	FRECUENCIA	%
“Con charlas sobre situaciones vividas en sus tareas o que se pueden presentar en el futuro”	18	54,6
“Con su ejemplo”	9	27,2
“De manera directa, exponiendo el tema y exigiendo cumplimiento de tareas”	6	18,2
	33	100

4.1.2. Análisis

Al analizar los resultados de las encuestas, se debe tener siempre presente que las inferencias que resultan del análisis están referenciadas a un determinado contexto: la carrera de Ingeniería Civil, en primer lugar, la Facultad de Ingeniería en segundo lugar, y la UCASAL, como el continente de toda la actividad.

Al tratarse de un sondeo exploratorio, y como tal, de primera aproximación al estado del tema en ese contexto, no sería correcto generalizar resultados sin previamente profundizar la tarea de investigación, incorporando otros instrumentos, como la observación de clases, y las metodologías de trabajo, como puede serlo la investigación-acción, a la par de ampliar las muestras para las encuestas. Todo ello conlleva la implementación de otro diseño, el manejo de tiempos diferentes del empleado en el presente estudio y la conformación de equipos de trabajo.

a) Respuestas a la primera pregunta:

Surge, como primera lectura, la variedad de concepciones que los alumnos tienen sobre los valores. Esto no hace más que confirmar lo complejo del análisis de estas vertientes de la realidad, y las dificultades para encuadrarlos en categorías. Las elegidas para este trabajo, construidas a partir de las respuestas, representan una primera instancia de categorización. El análisis de contenido realizado conlleva un proceso de interpretación que indudablemente es perfectible a través de una permanente práctica del mismo. Se trabajó, entonces, con las categorías que figuran en la tabla.

La gran variedad de respuestas a esta pregunta está indicando que, en la implementación de una estrategia de formación en valores en

la carrera, una de las primeras líneas de acción debería ser la clarificación de los conceptos sobre valores.

b) Respuestas a la segunda pregunta:

Cabe aclarar que, como puede verse en las respuestas, no todos los elementos mencionados por los alumnos constituyen valores en el sentido estricto de la palabra. Sin embargo, se elige presentarlos tal como ellos los expresaron, entendiendo que las menciones quieren hacer referencia a algo percibido como valioso.

En ese sentido, la categoría “Familia” se interpreta como “los aspectos valiosos de las relaciones familiares”, y es significativo que haya sido mencionada en el 8,2 % de las respuestas, pues indica que la familia mantiene su importancia como generadora de valores.

También se hace constar que se explicitaron los elementos que reunieron cantidades significativas de menciones. La categoría “Otros”, que representa el 31,7 % del total, agrupa 40 subcategorías que tuvieron 1 o 2 elecciones cada una, si bien en ella se encuentran valores tan importantes como perseverancia, tolerancia, libertad, paz, justicia, integridad, lealtad, etc. De allí que en la tabulación no se presenten estos elementos como categorías independientes, y que se agrupen con el nombre de “Otros”.

Honestidad, responsabilidad y respeto son los valores que surgen como prioritarios para los alumnos. Esto nos estaría hablando de un alumnado que, en principio, comulga con los valores que se proponen desde la Institución.

c) Respuestas a la tercera pregunta:

Se observa que para la gran mayoría de los alumnos es muy importante que desde las cátedras se transmitan valores. Esto indicaría que los estudiantes de la carrera están en ésta Universidad no sólo por la formación técnica que reciben, sino porque comparten el ideario de la UCASAL, lo cual estaría representando un fuerte apoyo a la tarea de formación integral que se propone desde la Institución. También sugiere que los alumnos van tomando conciencia que se están formando como profesionales y como personas.

d) Respuestas a la cuarta pregunta:

En el primer grupo de respuestas a esta pregunta, se puede inferir que la gran mayoría de los alumnos perciben que desde los docentes hay un compromiso con la transmisión de valores.

En el segundo grupo de respuestas surge que los tres valores que los alumnos señalan como los que más se destacan entre los que los docentes les presentan, son justamente aquellos que surgieron como prioritarios en sus preferencias: honestidad, responsabilidad y respeto. Una importante inferencia que puede hacerse de esto es que, desde los docentes y desde la Facultad, se estaría haciendo una lectura correcta de los valores que los alumnos esperan recibir.

e) Respuestas a la quinta pregunta:

Los alumnos destacan la transmisión de valores a partir de charlas (formales e informales) en donde el docente les presente situaciones reales de su experiencia profesional, y en las cuales se den conflictos de valores. Este resultado es importante, porque sugiere líneas de acción o metodologías a tener en cuenta en una presentación de valores.

Los resultados indican también que los alumnos consideran importante en la transmisión de valores la figura del docente como modelo o ejemplo de los mismos. Esto confirma lo expresado en el marco teórico, de la gran responsabilidad que le cabe al docente como referente de valores, y de la necesidad de que primero éstos sean apropiados por el profesor y puestos en práctica con convicción en su vida cotidiana.

4.2. Docentes

4.2.1. Clasificación y tabulación de las encuestas

En el caso de la primera pregunta, el 100 % de los encuestados respondió que es muy importante (o de fundamental importancia) la presentación de valores. Por ello, en la clasificación de las respuestas se consideraron las siguientes categorías, que tienen que ver con la finalidad de la transmisión de valores en la carrera:

CATEGORÍA	FRECUENCIA	%
“Formación integral del ingeniero como persona, más allá de la profesión”	8	53,3
“Atendiendo a su mejor desempeño profesional en la sociedad”	7	46,7
	15	100

En la segunda pregunta, se consideraron respuestas que se referían a lo transversal o específico de la presentación de valores, y dentro de las primeras, las que indicaban el por qué de dicha elección:

CATEGORÍA	FRECUENCIA	%
“Transversal”	14	93,3
“Por lo integral de la formación del ingeniero”	7	46,7
“Sin explicar por qué”	5	33,3
“Para que existan criterios consensuados docentes-institución”	2	13,3
“Propia de una materia específica”	1	6,7
	15	100

En el caso de la tercera pregunta, el 100 % de los encuestados respondió que sí presenta valores desde su cátedra. Por ello, en la clasificación de las respuestas se consideraron estas categorías, que tiene que ver con cuáles valores consideran los más relevantes en la transmisión que realizan desde su cátedra:

CATEGORÍA	FRECUENCIA	%
Honestidad	10	23,2
Respeto	5	11,7
Solidaridad	5	11,6
Responsabilidad	4	9,3
Verdad	3	7,0
Ética profesional	3	7,0
Justicia	2	4,7
Seriedad	2	4,7
Tolerancia	2	4,7
Integridad	1	2,3
Moral	1	2,3
Creatividad	1	2,3
Esfuerzo	1	2,3
Humildad	1	2,3
Espíritu de autocrítica	1	2,3
Vida	1	2,3
	43	100

Para la cuarta pregunta, agrupando las respuestas según núcleos semánticos, resultaron las siguientes categorías:

CATEGORÍA	FRECUENCIA	%
“Con charlas surgidas en clase o en encuentros informales con los alumnos”	14	51,9
“Sobre cuestiones técnicas vividas en mis actividades, o que se puedan presentar en el futuro”	9	33,3
“Sobre cuestiones o acontecimientos de índole social que presenten conflictos de valores”	5	18,6
“Con mi ejemplo diario”	11	40,7
“De manera directa y sistemática, exponiendo el tema y exigiendo calidad en las tareas”	2	7,4
	27	100

4.2.2. Análisis

a) Respuestas a la primera pregunta:

Como ya se expresó, el 100 % de los encuestados respondió que es muy importante (o de fundamental importancia) la presentación de valores. Como era de esperarse, la cuestión de que se están formando personas, y no sólo profesionales, se presenta más clara en los docentes. Del análisis que tiene que ver con la finalidad de la transmisión de valores en la carrera, si bien no se puede decir que las categorías sean diametralmente opuestas, surge la necesidad de buscar un consenso entre los docentes, para transmitir un mensaje coherente al alumnado y a la sociedad.

b) Respuestas a la segunda pregunta:

Los resultados hablan a las claras de la necesidad de transversalidad en la presentación de valores, atendiendo a la formación integral que se busca. Pero, como se destaca en varias de las respuestas, y como se expresó en el análisis de la pregunta anterior, debe haber una coordinación para la búsqueda de consensos entre los docentes.

c) Respuestas a la tercera pregunta:

Tres de los cuatro valores que ocupan los primeros lugares según los docentes y según los alumnos coinciden: honestidad, respeto y

responsabilidad, lo cual estaría indicando que la forma de transmisión de los mismos es correcta, pues los alumnos están percibiendo los mismos valores que los docentes declaran estar presentando.

Pero el valor “solidaridad”, indicado por los docentes como uno de los más importantes que ellos presentan, ocupa en la lista de los alumnos un lugar intermedio, lo cual estaría indicando que hay dificultades en la transmisión de ese valor, pues no alcanza a ser percibido por todos los alumnos. Lo mismo ocurre con otros valores, como por ejemplo, la verdad.

Llama la atención que en la gran mayoría de las respuestas de los docentes no se encuentran menciones explícitas al cumplimiento de las cuestiones legales y jurídicas que conlleva el desempeño profesional. Si bien es posible que tales cuestiones queden incluidas cuando se habla de “seriedad” o de “ética” en las tareas profesionales, sería de esperar que hubiera referencias directas a la necesidad de respetar y cumplir con estos aspectos, habida cuenta del alto grado de deterioro que se observa en la función social.

d) Respuestas a la cuarta pregunta:

En los resultados se presenta una coincidencia con los alumnos, no sólo desde la conformación de las categorías, sino también de la importancia relativa de cada una.

También los docentes consideran que en la presentación de valores la manera más adecuada, o por lo menos, la que ellos más utilizan, la constituyen las charlas, formales o informales, que mantienen con los alumnos. Pero consideran dos variantes en esas charlas: las que se refieren a cuestiones específicas de la profesión y las que tienen que ver con otras cuestiones sociales que impliquen conflicto de valores, resultando, como era de esperar, que la mayoría se expresa a través de situaciones vividas en su práctica profesional. Esto indica la importancia de contar con un plantel de docentes que se encuentren en actividad en la profesión, con experiencia en trabajos relacionados con la asignatura en la que se desempeñan.

Los docentes también destacan la importancia del ejemplo en la presentación de valores. Esto remite a lo ya expresado al analizar las respuestas a la pregunta correspondiente en la encuesta a los alumnos.

4.3. Programas de las materias de la carrera

4.3.1. Análisis

Considerando el conjunto de programas analizados, se puede indicar que:

- Los valores de honestidad, responsabilidad y respeto ocupan un lugar destacado en los programas de la carrera.
- También son declarados de manera frecuente en los programas los valores solidaridad y aceptación de las ideas ajenas.
- Si bien en muchos de los programas no aparecen explícitamente menciones a los valores, eso no necesariamente está implicando un desinterés por el tema, desde el momento en que varias de esas materias resultaron mencionadas por los alumnos como aquellas en las que se presentaban valores. A la inversa, varias de las materias que en sus programas declaraban (incluso ampliamente) valores, no fueron mencionadas por los alumnos como aquellas en las que se transmitían valores. Esto estaría indicando la necesidad de rever la forma en que se transmiten esos valores.
- Se entiende que en un proceso de formación integral donde la transmisión de valores cumpla un rol determinante, para ser coherentes entre pensamiento y acción, debe explicitarse en los programas de las asignaturas los valores a trabajar, y luego debe concretarse efectivamente dicha declaración.

4.4. Triangulación

Al realizar la confrontación de los resultados obtenidos con los distintos instrumentos, surge como elemento destacado la notable coincidencia que tanto docentes como alumnos tuvieron en:

- La importancia que le asignan, para su formación profesional y personal, a la presentación de valores en la Facultad.
- Asignar, en la escala de valores a presentar, los máximos lugares a Honestidad, Responsabilidad y Respeto.
- Considerar en primer lugar, para la presentación de valores, a las charlas, tanto formales como informales.

Teniendo en cuenta que los instrumentos fueron aplicados en forma independiente a docentes y a alumnos, esta coincidencia en las cuestiones estudiadas otorga un mayor grado de validación a los resultados, tanto más si se considera que el análisis de los programas reafirma, en los puntos en los que se tratan los mismos conceptos, los resultados de las encuestas.

5. Conclusiones y sugerencias

Como conclusiones relevantes del trabajo se mencionan las siguientes:

- Los valores son conceptualizados de muy diversas maneras por los alumnos de la carrera de Ingeniería Civil de la Facultad de Ingeniería e Informática de la UCASAL.
- Los alumnos consideran a los docentes como modelos de valores.
- Tanto docentes como alumnos le asignan fundamental importancia a la presentación de valores en la carrera, si bien desde los docentes se percibe más claramente esa importancia para la formación integral del profesional.
- Se observa que existen dificultades en la forma de presentación de ciertos valores, que no alcanzan a ser percibidos por los alumnos.
- Tanto docentes como alumnos consideran a Honestidad, Responsabilidad y Respeto como los valores más importantes en el contexto de la carrera y de la Facultad.
- Desde el cuerpo docente se reconoce la necesidad de presentar los valores de manera transversal, aunque con la presencia de una coordinación que favorezca el consenso y defina criterios para la acción.
- Tanto docentes como alumnos privilegian las charlas formales e informales sobre aspectos de la práctica profesional como canales de presentación de valores, aunque sin dejar de reconocer que el ejemplo de los docentes en su diaria interacción con los alumnos es también un medio de relevancia en la transmisión de valores.

De la investigación desarrollada se desprenden las siguientes sugerencias y aportes:

- Dado el carácter exploratorio del presente trabajo, se destaca la necesidad de realizar una profundización del mismo, para llegar a una comprensión más precisa y detallada de la temática. En ese sentido, se considera que en dicho futuro estudio será importante:
 - o Ampliar las muestras para las encuestas. Al ampliar la muestra estudiada, podrán tenerse mejores proyecciones respecto a los resultados.
 - o Considerar otros documentos, como la Ley de Educación Superior, el Código de Ética Profesional del Ingeniero Civil, etc.
 - o Incluir entre los instrumentos a la observación de clases. Se trata de un instrumento que permitirá un mayor acercamiento a lo que ocurre en el día a día de las clases.
- Se considera importante avanzar en la sistematización de los procesos de presentación y transmisión de valores y no dejar librado este aspecto a la espontaneidad o arbitrio de cada docente, promoviendo activa, deliberada y coordinadamente acciones para facilitar la construcción de valores en los alumnos. Ya desde la inclusión explícita en los programas de las asignaturas, debe estar presente ese compromiso con la formación integral.
- Se sugiere la realización periódica de Talleres a cargo de los docentes de las cátedras de Ética Profesional, Filosofía, Teología y Doctrina Social de la Iglesia, o de personalidades referentes en el tema, con la participación de docentes y alumnos, en algunas instancias separados y en otras juntos, con el objetivo de :
 - o Clarificar las concepciones sobre valores.
 - o Avanzar en la construcción de consensos respecto, tanto a cuáles serán los valores que se trabajarán transversalmente, como a las estrategias más adecuadas para su implementación. En este sentido, será importante aprovechar las inquietudes o sugerencias de los alumnos.
- Se considera de gran importancia la implementación de Prácticas Profesionales Integrales, en las que los alumnos deban trabajar multidisciplinariamente situaciones cercanas a las que tendrán en su desempeño profesional, y donde se presenten conflictos de valores que deban resolver a partir de la confrontación con los sistemas de

valores. En esta instancia será de fundamental importancia la experiencia de los docentes para guiarlos.

Bibliografía

- Bisquerra A., R. *Metodología de la investigación educativa*. La Muralla, Madrid, 2004
- Camps, V. *Los valores de la educación*. Anaya, Madrid, 1994.
- CELAM. *III Conferencia General del Episcopado Latinoamericano, Puebla: La evangelización en el presente y en el futuro de América Latina*. Conferencia Episcopal Argentina, Buenos Aires, 1979.
- CELAM. *IV Conferencia General del Episcopado Latinoamericano, Santo Domingo: Nueva evangelización, promoción humana, cultura cristiana. Jesucristo, ayer hoy y siempre. Conclusiones*. Conferencia Episcopal Peruana, Lima, 1992.
- Chávez, J. y Baeza, J. *Género y educación superior en el umbral del siglo XXI*. En X Conferencia de Sociología de la Educación, Valencia 18-20 Septiembre 2003. Disponible en www.uv.es/~jbeltran/ase/textos/chavez.pdf. Última consulta 24/11/2008.
- Fernández, V. y Galli, C. *La Nación que queremos*, San Pablo, Buenos Aires, 2004.
- González Maura, V. El profesor universitario: ¿un facilitador o un orientador en la educación de valores? *Revista Cubana de Educación Superior*, XIX(3) 1999. Disponible en www.campus-oei.org/valores/viviana.htm. Última consulta 24/11/2008.
- Hernández Sampieri, R., Fernández, C. y Baptista, P. *Metodología de la investigación* McGraw-Hill, México, 2006.
- Juan Pablo II, *Sollicitudo rei socialis*. Carta encíclica al cumplirse el vigésimo aniversario de de la Populorum Progressio, 1987.
- Juan Pablo II, *Ex corde ecclesiae*. Constitución Apostólica sobre las Universidades Católicas, 1990.
- Juan Pablo II, *Ecclesia in America*, Trejo Ediciones, Córdoba, 2000.

- Krippendorff, K. *Metodología del análisis de contenido. Teoría y práctica*. Paidós, Barcelona, 1997
- López Quintás, A. *El conocimiento de los valores*, Verbo Divino, Estella, 1992.
- Martínez Martín, M., Buxarrais Estrada M. R. y Esteban Bara, F. La universidad como espacio de aprendizaje ético, *Monografías virtuales: Ciudadanía, democracia y valores en sociedades plurales*, n. 3, Oct-Nov. 2003. Disponible en www.campus-oei.org/valores/monografias/monografia03/reflexion02.htm. Última consulta 24/11/2008.
- Naranjo, E. *La formación integral en valores de los alumnos de la carrera de Psicología de la Universidad Católica de Salta*. Tesis de Maestría. Facultad de Artes y Ciencias, UCASAL, Salta, 2006.
- Onetto, F. *Con los valores, ¿quién se anima?* Bonum, Buenos Aires, 1997.
- Parra de Gallo, B. La formación humanística en el ingeniero, *Cuadernos de la Facultad de Ingeniería e Informática*, vol. 1, Nov. 2006, UCASAL, Salta.
- Pontificio Consejo Justicia y Paz, *Compendio de la Doctrina Social de la Iglesia*. Conferencia Episcopal Argentina, Oficina del Libro, Buenos Aires, 2005.
- Rodríguez Reyes, I. Construcción de valores en los adolescentes: Función estratégica de la familia del siglo XXI, *Aula Abierta* 104, Junio 2001, 59-63, 2001.