

## Revisiones

# L'examen Doppler: una innovació en el diagnòstic quantitatiu de l'estenosi valvular aòrtica

G.J. Pons Lladó, F. Carreras Costa,  
X. Borrás Pérez, G.J. Leech \*

## Introducció

L'estenosi valvular aòrtica (EVA) és una cardiopatia freqüent que consisteix en la reducció de l'orifici permeable de la vàlvula aòrtica, i que origina una obstrucció a l'ejecció de sang desde el ventricle esquerre a l'arteria aorta. L'origen de l'EVA pot ser congènit, per defecte de la partició de les comisures de la vàlvula, el més freqüent, o com a fase crònica tardana d'una cardiopatia reumàtica.

## Diagnòstic hemodinàmic

El diagnòstic clínic de la presència d'una EVA es basa en una sèrie de signes i símptomes ja clàssics en cardiologia.<sup>1</sup> La valoració del grau de severitat de la lesió consisteix en la determinació de l'àrea efectiva valvular. Aquest càlcul requereix del cateterisme del cor esquerre, ja que la fórmula hidràulica de l'àrea estableix que aquesta és directament proporcional al fluxe que l'atravessa (dèbit cardíac) i inversament a la velocitat que assoleix la sang després d'haver atravesat la vàlvula. Ja que, en el moment en que es varen portar a terme els estudis sobre aquesta equació,<sup>2</sup> no hi havien mètodes disponibles per a determinar la velocitat de la sang, aquest paràmetre es va substituir per un valor directament relacionat, com era la diferència de pressions entre les cavitats que la vàlvula separa (gradient mitjà ventricle esquerre/aorta). A la pràctica, donada la complexitat de la fórmula i les fonts d'error en el càlcul dels paràmetres que l'integren, la severitat d'una EVA sòl estimar-se senzillament pel denominat «gradient pic a pic», o diferència entre la pressió màxima intraventricular esquerra i la pressió aòrtica en sistole, expressada en mil·límetres de mercuri (mm Hg). Encara que es obvi que, en cas d'una mateixa àrea valvular, el gradient de pressió observat pot ésser diferent, depenent del dèbit cardíac en cada moment, els clínics admeten que una EVA és important i, per tant, que requereix tractament quirúrgic, quan el gradient pic a pic es superior a 50 mm Hg.<sup>3</sup> En aquestes condicions, i assumint que el dèbit cardíac estigui dins de límits normals, l'àrea efectiva valvular es sempre inferior a 0,8 cm<sup>2</sup>. De qualsevol manera, es precisa la pràctica d'un cateterisme cardíac, única forma, en el moment actual, de determinar una pressió intracavitària.

---

Gabinet d'Ecocardiografia-Doppler.  
Departament de Cardiologia. Hospital de la  
Santa Creu i Sant Pau. Barcelona

\* Echocardiographic Department  
Cardiac Unit  
St. George's Hospital  
Londres

Treball realitzat, en part, gràcies a una ajuda de la Comissió Interdepartamental de Recerca i Innovació Tecnològica (CIRIT) de la Generalitat de Catalunya.

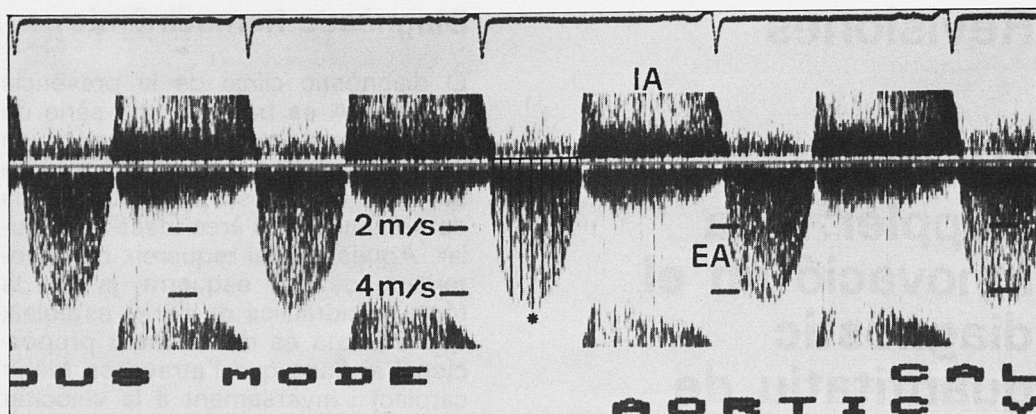


Figura 1

Estudi Doppler continu per via apical en un cas de doble lesió aòrtica. Determinació dels gradients màxim (\*) i mitjà a partir de la curva de velocitats. EA: senyal d'estenosi aòrtica; IA: senyal d'insuficiència aòrtica.

## Diagnòstic per mitjans incruents

El risc inherent a la pràctica d'una exploració cruenta, com el cateterisme cardíac, que, per tant, no es pot repetir a voluntat, ha propiciat la recerca d'altres formes de valoració de la gravetat d'una EVA.

La *fonomecanocardiografia* s'ha aplicat en la descripció de valors quantitatius a partir dels registres de la curva de pols carotídi i del propi buf expulsiu que presenten aquests pacients.<sup>4</sup>

L'aparició de l'*ecocardiografia*, amb la possibilitat de visualitzar les estructures cardíques, inclosa la vàlvula aòrtica, va estimular l'interès en la recerca d'un sistema de valoració de severitat d'una obstrucció valvular aòrtica, basat en la visualització de la pròpia vàlvula<sup>5</sup> o bé en l'estimació de les repercussions de la lesió, com es l'hipertrofia ventricular.<sup>6</sup>

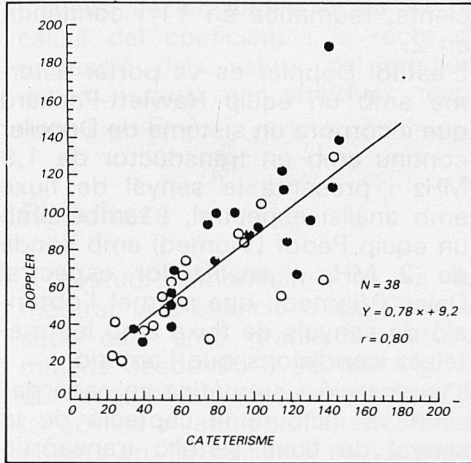
No obstant, i per variades raons, especialment metodològiques,<sup>7</sup> aquestes tècniques «no invasives» no han demostrat, en estudis comparatius amb el cateterisme, suficient valor predictiu en el diagnòstic de la severitat de l'EVA com per convèncer als propis clínics<sup>8</sup> ni, obviament, als he-

modinamistes.<sup>9</sup> S'adueix, i amb raó, que les conseqüències que es deriven pel pacient requereixen de la màxima fiabilitat a l'hora d'establir un diagnòstic de severitat a l'EVA: tan indesitjable es descartar erròneament el tractament quirúrgic en una lesió crítica como implantar una vàlvula artificial, amb el risc que comporta, en un cas d'estenosi lleugera.

La tècnica Doppler amb ultrasons aplicada a l'estudi dels fluxes circulitoris es va introduir fa ja 25 anys,<sup>10</sup> encara que la seva aplicació clínica en cardiologia no s'ha vist impulsada fins recentment, en que alguns grups han portat a terme extensos programes de validació de la tècnica en cardiologia clínica.<sup>11,12</sup>

La capacitat de mesurar la velocitat de la sang mitjançant l'examen Doppler té una aplicació directa en l'estudi d'una estenosi valvular cardíaca.

Encara que la sang es un líquid de característiques físiques peculiars, el comportament de la circulació sanguínea segueix, en bona part, les lleis de l'hidrodinàmica. Així, la presència d'una estenosi origina una acceleració de la velocitat de la sang a fi de que el rendiment (dèbit) a través



**Figura 2**  
 Correlació entre els gradients transvalvulars aòrtics màxims (mmHg) determinats per Doppler continu i per cateterisme. ●: casos d'EVA sense insuficiència aòrtica significativa; ○: casos d'EVA amb insuficiència associada de grau al menys moderat o important.

d'aquell conducte es mantingui constant, i que es pot objectivar més enllà de l'obstrucció. La velocitat assolida per la sang està directament relacionada amb la quantia de l'estenosi, i aquesta relació es la que s'aprofita pel càlcul de la severitat de l'EVA a partir de la curva de velocitats del fluxe aòrtic, obtingut per Doppler.

La base física per aquests càlculs es l'equació que relaciona la caiguda de pressió entre les càmeres proximal i distal a l'obstrucció ( $p_1 - p_2$ ), una magnitud de l'energia que es precisa per a conduir el fluxe a través d'una estenosi, amb una sèrie de factors: 1) l'acceleració convectiva es el principal, i representa aquella part de l'energia utilitzada en produir un augment de velocitat de la sang que atravesca l'obstrucció; 2) l'acceleració del fluxe està en relació amb la longitud de l'orifici estenòtic, poc important en el cas de les vàlvules cardíacques; i 3) les forces de fricció degudes a la viscositat del líquid també han d'ésser vençudes per l'e-

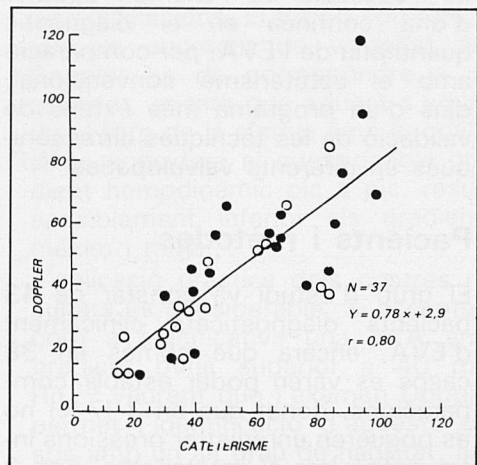
nergia que representa el gradient de pressió.

L'equació de Bernoulli expressa aquestes relacions:

$$p_1 - p_2 = [1/2 \rho (v_2^2 - v_1^2)] + [\int_1^2 dv/dt \cdot ds] + [R (v)] \quad (1)$$

(Gradient = acceleració convectiva + acceleració del fluxe + fricció;  $p_1$  = pressió proximal a l'estenosi;  $p_2$  = pressió distal;  $P$  = densitat de la sang;  $v_2$  = velocitat distal;  $v_1$  = velocitat proximal;  $dv/dt$  = acceleració;  $ds$  = espai, «longitud» del orifici estenòtic;  $R$  = resistència viscosa del vas.)

Aquesta fórmula, aparentment complexa, pot ésser simplificada per a la seva aplicació clínica, ja que s'ha demostrat que, per les àrees dels orificis valvulars del cor humà, inclús estenòtics, i pels valors de la velocitat que assoleix la sang al atravesar aquests orificis els factors d'acceleració del fluxe i de fricció viscosa poden ésser raonablement menyspreats.<sup>13</sup> L'equació, així, es simplifi-



**Figura 3**  
 Correlació entre els gradients transvalvulars aòrtics màxims (mmHg) determinats per Doppler continu i per cateterisme. ●: casos d'EVA sense insuficiència aòrtica significativa; ○: casos d'EVA amb insuficiència associada de grau al menys moderat o important.



ca considerablement:

$$p_1 - p_2 = [1/2 \rho (v_2^2 - v_1^2)] \quad (2)$$

Donat que, a més, la velocitat de la sang abans de l'estenosi ( $v_1$ ) és molt baixa i el seu valor a la potència 2 minva en molt poc el de la velocitat postestenòtica, pot ésser també eliminat de la fórmula. Ara, introduïnt el valor de la densitat de la sang  $\rho$  ( $1,06 \times 10^3 \text{ kg/m}^3$ ), podem obtenir, aproximadament:

$$p_1 - p_2 = 4v_2^2 \quad (3)$$

Aquesta es la denominada equació simplificada de Bernoulli, que relaciona directament la caiguda (gradient) de pressió entre les càmeres proximal i distal a l'estenosi ( $p_1 - p_2$ ) amb la velocitat màxima de la sang després de l'obstrucció ( $v_2$ ). La fórmula s'ha aplicat amb èxit per a la determinació del gradient hemodinàmic de l'EVA, tant en condicions clíniques,<sup>14</sup> com experimentals.<sup>15</sup>

Animats per aquestes evidències, el nostre grup es va proposar un estudi de l'aplicació de l'examen *doppler* d'ona contínua en el diagnòstic quantitatiu de l'EVA, per comparació amb el cateterisme convencional, dins d'un programa més extens de validació de les tècniques ultrassòniques en diferents valvulopaties.<sup>16,17</sup>

## Pacients i mètodes

El grup d'estudi va constar de 43 pacients diagnosticats clínicament d'EVA, encara que només en 38 casos es varen poder establir comparacions, donat que en 3 (7 %) no es pogueren enregistrar pressions intraventriculars al cateterisme, i en 2 (5 %) l'examen Doppler es va considerar tècnicament incorrecte. Composaven aquest grup 21 homes i 17 dones, d'edat mitja  $58 \pm 13$  anys (17-78). L'etiologia de l'EVA es va considerar degenerativa en 25 pa-

cients, reumàtica en 11 i congènita en 2.

L'estudi Doppler es va portar a terme amb un equip Hewlett-Packard que incorpora un sistema de Doppler continu amb un transductor de 1,9 MHz i presenta la senyal de fluxe amb anàlisi espectral, i també amb un equip Pedof (Vigmed) amb sonda de 2 MHz i analitzador espectral Daisy (Vigmed), que permet l'obtenció de senyals de fluxe amb les mateixes condicions que l'anterior.

L'exploració sistemàtica en cada pacient va incloure la captació de la senyal de fluxe sistòlic transaòrtic per aplicació del transductor a les regions apical, paraesternal dreta i subcostal, practicant lleugeres angulacions, guiats per la senyal acústica, fins a reconèixer el fluxe aòrtic, tal com han descrit altres autors.<sup>14</sup> La projecció en que es va obtenir amb més freqüència una senyal adequada va ésser l'apical. Es va practicar un registre en paper a una velocitat de 100 mm/seg, calculant, posteriorment, el gradient màxim instantani a partir de la màxima velocitat de la curva Doppler, a la que s'aplicava la fórmula (3) gradient =  $4 v^2$ . El gradient mitjà al llarg de la sístole es va calcular promitjant la sumació dels valors del gradient instantani a intervals de 30 milisegons (figura 1).

L'estudi hemodinàmic es va portar a terme, generalment, amb 24 hores d'interval respecte del Doppler, encara que en alguns casos hi havia més diferència, no superior mai a una setmana. El gradient transaòrtic es va obtenir comparant les curves intraventricular i aòrtica al practicar una retirada d'un catèter situat inicialment al ventricle esquerre. En cada pacient es va considerar el gradient màxim, el mitjà, calculat per planimetria, i el pic a pic, tots ells mesurats en una seqüència en que la freqüència cardíaca fos comparable a la del examen Doppler (diferència màxima del 10 %).

L'anàlisi de les dades es va fer pel càlcul del coeficient i la recta de regressió dels valors del gradient màxim i mitjà per ambdues tècniques.

## Resultats

A l'estudi hemodinàmic es va demostrar la presència d'una EVA en cada cas, amb gradients sistòlics mitjans desde 16 a 98 mm Hg. En 23 casos hi havia insuficiència valvular aòrtica a l'angiografia, encara que només en 18 pacients es va considerar com a significativa (graus 3 i 4 sobre 4).

La correlació entre els gradients calculats per Doppler i per hemodinàmica va mostrar un coeficient  $r$  de 0,80, tant en el cas del gradient màxim com mitjà (figures 2 i 3). No es va apreciar una desviació significativa de les correlacions en els casos amb insuficiència aòrtica agregada.

## Discussió

Els nostres resultats, al igual que els que comuniquen d'altres autors,<sup>14,18,19</sup> permeten considerar l'examen Doppler com a mitjà eficaç per a l'estimació del gradient de pressió a l'EVA. Encara que el gradient hemodinàmic pic a pic es habitual a la pràctica clínica per a caracteritzar una EVA, en realitat no és una mesura ortodoxa, ja que té en compte dos paràmetres no simultanis en el temps, com són el pic màxim de pressió intraventricular i aòrtica. Per aquesta raó no hem intentat fer correlacions d'aquest valor amb les dades de l'examen Doppler, que permet estimar el gradient instantani i el mitjà, però no el que es deriva de dos fenòmens no simultanis.<sup>14</sup> La forma més correcte de valorar una

estenosi es el gradient mitjà, en el qual les correlacions observades son bones, i si no excel·lents es a causa de 4 casos en que el gradient es va subestimar per Doppler (figures 2 i 3). Aquests casos es podrien haver considerat, per Doppler, com a portadors d'una EVA de grau moderat quan, en realitat, era severa. En cap cas, per altre part, va passar per alt la presència d'EVA, fins i tot, lleugera. Atribuïm aquesta infraestimació a un angle d'incidència massa gran entre el feix d'ultrasons i el *jet* de sang, el qual redueix falsament la velocitat màxima registrada per Doppler.

Es varen considerar separatament els casos amb insuficiència aòrtica significativa, ja que alguns autors<sup>18</sup> han recomanat prudència en l'estimació del gradient d'una EVA per Doppler en cs de regurgitació aòrtica agregada, donat que pot augmentar falsament les dades obtingudes. No hem confirmat aquesta observació, ja que, tant en el cas del gradient màxim com mitjà (figures 2 i 3, cercle oberts), la presència d'insuficiència aòrtica no induïa desviació de les correlacions. El fet no sorprèn, ja que un augment de velocitat per Doppler ha de correspondre a un gradient, encara que aquest s'equilibri al llarg de la sístole amb lo qual, i si és considera el questionable gradient hemodinàmic pic a pic, resulti sensiblement inferior als gradients màxim i mitjà.

L'aplicació pràctica dels nostres resultats és considerable. Si acceptem com a significativa una EVA amb gradient mitjà superior a 40 mm Hg,<sup>19</sup> veurem que l'examen Doppler permet l'identificació d'aquests casos amb un alt grau de fiabilitat, fins i tot amb la simple estimació de la velocitat sistòlica màxima, que si és igual o superior a 4 m/seg resulta 100 % específica en el diagnòstic d'EVA severa. La sensibilitat d'aquest paràmetre és només del 88 %,

encara que aquests pocs casos que s'infraestimen cauen lleugerament per sota d'aquest valor, amb lo cual la possibilitat de que una avaluació integrada del pacient desestimi la presència d'EVA significativa es realment baixa.

## Conclusions

L'estimació del gradient hemodinàmic màxim i mitjà a l'EVA del adult per examen Doppler d'ona contínua mostra bona correlació amb els valors obtinguts del cateterisme cardíac i pot ésser aplicada de rutina en l'estudi d'aquests pacients, amb l'avantatge de l'inoquitat del mètode.

## Bibliografia

1. Wood P. Aortic stenosis. *Am J Cardiol* 1958; 1: 553-571.
2. Gorlin R, Gorlin SG. Hydraulic formula for calculation of the area of the stenotic mitral valve, other cardiac valves, and central circulatory shunts. *Am Heart J* 1951; 41: 1.
3. Morrow AG, Roberts WC, Ross J Jr, *et al*. Obstruction to left ventricular outflow. Current concepts of management and operative treatment. *Ann Intern Med* 1969; 89: 1.255-1.286.
4. Bonner AJ, Sacks HN, Tavel ME. Assessing the severity of aortic stenosis by phonocardiography and external carotid pulse recordings. *Circulation* 1973; 48: 247-252.
5. DeMaria AN, Bommer W, Joye J, Lee G, Boutleer J, Mason DT. Value and limitations of cross-sectional echocardiography of the aortic valve in the diagnosis and quantification of valvular aortic stenosis. *Circulation* 1980; 62: 304-312.
6. Aziz KU, Grondelle A, Paul MH, Muster AJ. Echocardiographic assessment of the relation between left ventricular wall cavity dimensions and peak systolic pressure in children with aortic stenosis. *Am J Cardiol* 1977; 40: 775-780.
7. DePace NL, Ren JF, Iskandrian AS, Kotler MN, Hakki A, Segal BL. Correlation of echocardiographic wall stress and left ventricular pressure and function in aortic stenosis. *Circulation* 1983; 67: 854-859.
8. Parisi AF, Folland ED. Are noninvasive tests sufficient for preoperative evaluation of aortic stenosis? *J Am Coll Cardiol* 1984; 3: 1.092-1.095.

La presència d'insuficiència aòrtica agregada no limita l'aplicabilitat del mètode.

Encara que poden obtenir-se senyals de fluxe adequats en la majoria de malalts, es requereix una exploració exhaustiva de les diferents vies d'accés al fluxe aòrtic, de les quals la millor és l'apical, ja que una infraestimació de les velocitats màximes del *jet* condiciona una infraestimació del gradient, tot i que, en el nostre estudi, en cap cas aquest problema va representar una limitació significativa desde un punt de vista pràctic.

Aquests resultats permeten contemplar la possibilitat d'estalviar la pràctica d'un cateterisme cardíac diagnòstic en els malalts amb EVA.

9. Hildner FJ. Good science is not always the best medicine. *J Am Coll Cardiol* 1984; 3: 1.097-1.098.
10. Franklin DL, Schlegel WA, Rushmer RF. Blood flow measured by Doppler frequency shift of backscattered ultrasound. *Science* 1961; 134: 564-565.
11. Holen J, Aaslid R, Landmark K, Simonsen S. Determination of pressure gradient in mitral stenosis with a non-invasive ultrasound Doppler technique. *Acta Med Scand* 1976; 199: 455-460.
12. Hatle L, Brubakk A, Tromsdal A, Angelsen B. Non-invasive assessment of pressure drop in mitral stenosis by Doppler ultrasound. *Br Heart J* 1978; 40: 131-140.
13. Holen J, Aaslid R, Landmark K, Simonsen S, Ostrem T. Determination of effective orifice area in mitral stenosis from non-invasive ultrasound Doppler data and mitral flow rate. *Acta Med Scand* 1977; 201: 83-88.
14. Hegrenaes L, Hatle L. Aortic stenosis in adults. Non-invasive estimation of pressure differences by continuous wave Doppler echocardiography. *Br Heart J* 1985; 54: 396-404.
15. Callahan MJ, Tajik AJ, Su-Fan Q, Bove AA. Validation of instantaneous pressure gradients measured by continuous-wave Doppler in experimentally induced aortic stenosis. *Am J Cardiol* 1985; 56: 989-993.
16. Pons Lladó GJ, Carreras Costa F, Borrás Pérez X, eds. La técnica Doppler en Cardiología (número monográfico). *Rev Esp Cardiol* 1986; 39 (sup. II).
17. Pons-Lladó GJ, Carreras-Costa F, Balles-



ter-Rodés M, Augé-Sampera JMN, Crexells-Figueras C, Oriol-Palou A. Pulsed Doppler patterns of left atrial flow in mitral regurgitation. *Am J Cardiol* 1986; 57; 806-810.

18. Krafchek J, Robertson JH, Radford M, Adams D, Kissel J. A reconsideration of Doppler assessed gradients in suspected aortic

stenosis. *Am Heart J* 1985; 110: 765-773.  
 19. Yeager M, Yock PG, Popp RL. Comparison of Doppler-derived pressure gradient to that determined at cardiac catheterization in adults with aortic valve stenosis: implications for management. *Am J Cardiol* 1986; 57: 644-648.

## ante situaciones catastróficas

J.A. Ballesteros, A.M. Badosa,  
L. Usandizaga, J. Vidal

Catastrófe es todo suceso que produzca más accidentados o problemas sanitarios de los que el sistema de salud es capaz de manejar. Su característica fundamental es la desproporción entre las demandas asistenciales y los medios disponibles, por eso, cuatro heridos graves adquieren dimensiones catastróficas para un solo médico.

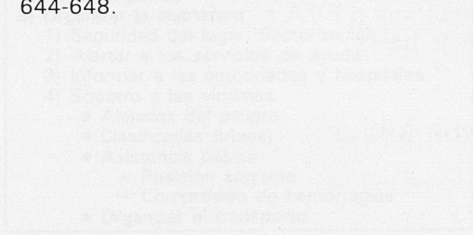
La atención inicial se suele realizar en los días han salido lesionados del siniestro o los primeros que llegan al lugar. La calidad de esta asistencia inmediata depende de la capacitación del público mediante cursos de socorristas en los colegios, fábricas, etc.

En estas situaciones un médico que provisto de medios y con demasía de frecuencia falta de mínimos conocimientos de las técnicas básicas de reanimación, puede realizar una importante labor.

Lo fundamental es:

- Evitar el pánico.
- Organizar las labores de salvamento.

A falta de Equipos Médicos Móviles, encuadrados en un Servicio de Ayuda Médica Urgente (S.A.M.U.), el médico, con las Fuerzas de Orden Público, debe dirigir las diferentes fases de la asistencia (Tabla I).



## 1. Seguridad del lugar

El principio básico que debe guiar la asistencia a un suceso es evitar la producción de nuevos efectos dañados del mismo (explosiones, derrumbamientos, etc.).

Se puede iniciar la seguridad de varias formas:

- Señalizando adecuadamente el lugar, con luces y señales (triángulos reflectantes, intumas, etc.).
- Iluminándolo, si es de noche, con faros de vehículos.
- Alejándose de los vehículos involucrados un mínimo de 7,5 m.
- Controlando a los curiosos.

### Sectarización

Para mayor seguridad y para evitar la aglomeración es conveniente sectorizar el lugar del siniestro dividiéndolo en dos áreas:

A) Área de salvamento: es la zona donde se encuentran los víctimas. El acceso debe estar restringido al personal autorizado del rescate.

B) Área de socorro: en ella se organiza la asistencia de un sistema modo:

- 1) Puesto de mando: Se sitúa en cualquier vehículo o lugar que disponga de teléfono o radio. Su misión es suministrar información a las unidades y solicitar y distribuir las ayudas.
- 2) Puesto de clasificación: Se sitúa en