

POTENCIANT LA NOVA ECONOMIA A CATALUNYA: UNA ANÀLISI ECONÒMICA DE LA FONT DE LLUM DE SINCROTRÓ DEL VALLÈS (ALBA)

José García Montalvo,* amb la col·laboració de Josep M. Raya Vílchez**

Aquest estudi presenta una anàlisi econòmica *ex ante* de la futura construcció d'una font de llum de sincrotró al Vallès Occidental. El projecte consisteix en la construcció d'una font de llum que aconseguirà un feix d'electrons amb energies en el rang d'almenys 2,5 GeV. A la vista dels objectius i d'un escenari bàsic, l'anàlisi financera en l'escenari bàsic resulta en un valor actualitzat net de 58,5 milions d'euros i una taxa interna de rendiment del 6,5 %. L'anàlisi de sensibilitat davant de canvis de la taxa d'inflació, els dies anuals d'obertura i els anys fins a la saturació mostra un interval de variació de la taxa interna de rendiment entre el 5,2 i el 7 %. L'anàlisi econòmica en l'escenari bàsic proporciona un valor actualitzat net de 140,9 milions d'euros i una taxa interna de rendibilitat del 9,4 %.

Sumari

- 0. Preàmbul
- 1. Introducció i objectius
- 2. El projecte
- 3. Factibilitat del projecte i anàlisi d'opcions
- 4. Anàlisi financera
 - 4.1. Metodologia i supòsits bàsics de l'anàlisi cost-benefici
 - 4.2. Resultat de l'anàlisi financera

* José García Montalvo és professor del Departament d'Economia i Empresa de la Universitat Pompeu Fabra de Barcelona i investigador associat de l'Institut Valencià d'Investigacions Econòmiques (IVIE) de València. L'autor agraeix les llargues hores de converses amb Salvador Maluquer i Ramon Pascual i els seus valuosos comentaris. El seu entusiasme amb el projecte de la font de llum de sincrotró del Vallès va ser contagiós.

** Josep M. Raya Vílchez és professor associat del Departament d'Economia i Empresa de la Universitat Pompeu Fabra de Barcelona.

- 5. Anàlisi econòmica
 - 5.1. Correccions fiscals
 - 5.2. Correccions per externalitats
 - 5.2.1. La utilització de l'energia i els seus efectes ambientals
 - 5.2.2. Els efectes sobre el capital humà
 - 5.2.3. Els efectes de l'increment de la inversió en innovació
 - 5.2.4. L'estalvi de temps
 - 5.3. Factors de correcció pels preus de mercat
 - 5.4. Efectes econòmics difícils de mesurar
 - 5.5. Resultats de l'anàlisi econòmica
 - 6. Conclusions
-

Preàmbul

La globalització i la generalització de les noves tecnologies de la informació i les comunicacions han canviat d'una manera definitiva la divisió internacional del treball. La competència a través de salaris baixos ha deixat de ser una opció en moltes àrees desenvolupades, com és el cas de Catalunya. Per aquest motiu, actualment resulta més important que mai la inversió en recerca i desenvolupament com a font d'innovació, creixement econòmic i creació de productes de gran valor afegit. Tradicionalment, Espanya ha mostrat uns nivells d'inversió en recerca i desenvolupament molt baixos. Mentre en els països més avançats del món l'R+D suposa més del 3 % del PIB, a Espanya aquest percentatge és tan sols de

l'1,1 %, ¹ molt per sota fins i tot de la mitjana de la Unió Europea. Un altre greu problema del sistema d'innovació espanyol és l'escàs pes que el sector empresarial té en la composició de la inversió en R+D (menys del 50 %) i l'excessiu pes de les universitats, sobretot tenint en compte els decebedors nivells de transferència de tecnologia des del sector d'educació superior cap a les empreses.

La situació a Catalunya és una mica millor. ² La inversió en R+D representa l'1,3 % del PIB, un percentatge que, malgrat que és bastant superior a la mitjana espanyola, no deixa de ser un nivell baix respecte a la resta de les economies avançades. Per la seva banda, les empreses fan el 66 % de la inversió en R+D a Catalunya. Aquest percentatge d'inversió empresarial està més en línia amb

¹ L'última dada disponible es refereix a l'any 2003.

² Per a una anàlisi comparativa de la situació de la inversió en R+D a Catalunya, a la Comunitat Valenciana i a Espanya es pot consultar GARCÍA MONTALVO (2003).

la proporció que es produeix en els països tecnològicament avançats (entre el 70 i el 80 %) que no pas en el cas espanyol.

És molt important disposar d'infraestructures tecnològiques modernes que permetin generar innovació i que siguin susceptibles d'utilització per part de la indústria.

Per aquests motius és molt important disposar d'infraestructures tecnològiques modernes que permetin generar innovació i que siguin susceptibles d'utilització per part de la indústria. La decisió de promoure la construcció d'una font de llum de sincrotró (ALBA) a Cerdanyola del Vallès, adoptada el 2003 pel Ministeri de Ciència i Tecnologia i el Departament d'Universitats, Recerca i Societat de la Informació de la Generalitat de Catalunya, va obrir una via lluminosa, mai més ben dit, al futur industrial i tecnològic de Catalunya i del sud d'Europa. La seva localització és totalment compatible amb la intensitat d'utilització d'aquest tipus d'infraestructures per part de la indústria, la importància de la inversió empresarial en R+D de l'economia catalana i el potent clúster universitari biològic, mèdic i farmacològic de l'àrea d'influència de Barcelona.

Actualment només hi ha unes setanta fonts de llum de sincrotró al món (moltes menys si es consideren solament les anomenades *de tercera generació*, com ara la que s'està començant a construir al Vallès), comptant tant les de titularitat pública

com les poques que són propietat de grans empreses. La llum de sincrotró es produeix mitjançant l'acceleració de partícules en acceleradors circulars per mitjà de camps magnètics uniformes en un tub de buit. Les partícules són dirigides per imants dipolars de curvatura. Els detalls tècnics de com es produeix l'acceleració de les partícules són fascinadors, però tenen poca relació amb l'anàlisi econòmica de la font de llum de sincrotró, que és l'objectiu bàsic d'aquest treball.³

Des del punt de vista econòmic són molt més importants les seves aplicacions. La llum de sincrotró és un instrument molt versàtil per a la recerca científica i industrial. Les seves aplicacions són tan importants com diverses. S'utilitza, per exemple, per al disseny de circuits electrònics i dispositius a escala molecular (nanotecnologia). És, per tant, una eina fonamental en la producció de circuits integrats d'alta densitat, que són els que permeten, entre altres coses, augmentar la velocitat de processament d'instruccions en els ordinadors. La tomografia, la topografia química o l'estudi de compostos metal·loorgànics són altres de les aplicacions industrials. En medicina, la llum de sincrotró es pot utilitzar per obtenir imatges tridimensionals molt detallades del cos humà sense necessitat de procediments invasius (radiografia de precisió, angiografia, mamografia). Per aquest motiu, alguns hospitals tenen una font de llum de sincrotró prop de les seves instal·lacions. En farmacologia, la llum de sincrotró permet la recerca de procediments per aconseguir que una determinada molècula química encerti en una diana molt petita (per exemple, un conjunt de cèl·lules cancerígenes). La recerca de nous fàrmacs i antibiòtics és una altra de les aplicacions dins del camp de la química farmacològica, juntament amb l'anàlisi de les estructures tridimensionals de nous

³ Per a una descripció més tècnica i detallada es pot consultar ABELA (2001) o PASCUAL (2003).

virus. La llum de sincrotró també s'utilitza per a l'anàlisi de cremes de bellesa, productes capil·lars i altres cosmètics, ja que ofereix una informació precisa sobre la influència d'aquests productes en la pell i el cabell, etc. En el camp de l'alimentació, l'aplicació de les tècniques basades en l'ús de llum de sincrotró també és molt important per a la millora de la qualitat dels productes alimentosos, per a l'anàlisi de l'estabilitat dels seus components o el gust dels productes. Les aplicacions en el camp de la petroquímica, els nous materials (sobretot plàstics i polímers), la indústria aeroespacial, la pintura o la química analítica són in comptables. Finalment, i sense ànim de ser exhaustiu, la llum de sincrotró també té múltiples aplicacions en el control de la qualitat ambiental (mesurament de contaminants en l'aire o l'aigua, etc.). El nombre d'aplicacions científiques i industrials de la llum de sincrotró és enorme i creixent.

1. Introducció i objectius

Els objectius fonamentals de la construcció de la font de llum de sincrotró ALBA a la comarca del Vallès són:

a) Reforçar la posició competitiva de la Unió Europea en matèria de grans instal·lacions tecnològiques.

A escala europea és necessari no tan sols desenvolupar instal·lacions basades en noves tècniques (com ara l'*International Termonuclear Experimental Reactor* o ITER), sinó també estendre i augmentar el nombre d'instal·lacions científiques que han proporcionat una rendibilitat científica i

empresarial elevada i que tenen una demanda creixent, com ara les fonts de llum de sincrotró. A més a més, la construcció d'aquesta nova instal·lació científica ajudaria a reduir la diferència que encara hi ha entre la intensitat de despesa en recerca a la Unió Europea (l'1,93 % del PIB el 2001,⁴ segons les últimes dades disponibles) i altres zones econòmiques com ara Estats Units (el 2,82 %) i Japó (el 3,09 %).

b) Facilitar l'accés de les empreses del sud de la Unió Europea i, en particular, d'Espanya, Portugal i el sud de França, a una font de llum de sincrotró.

Els costos de desplaçament, les dificultats d'accés (per saturació de les instal·lacions en altres països o problemes per superar el *peer review*)⁵ i el desconeixement de les capacitats d'aquest tipus d'instal·lacions redueixen la seva utilització per part de les empreses que podrien ser usuaris potencials. La taula 1 mostra la concentració de fonts de llum de sincrotró al nord d'Europa. La tendència recent, marcada per la necessitat d'un equilibri més gran, és la d'un desplaçament de l'eix cap al sud, tal com posen de manifest les localitzacions de les fonts de llum de sincrotró noves, actualment en fase de construcció.

c) Millorar el potencial científicotècnic de la Unió Europea i, en particular, el dels països més propers a la nova font de llum de sincrotró.

L'accés a una gran instal·lació d'aquestes característiques permet la familiarització de molts científics amb aquestes noves tecnologies (llum de sincrotró de tercera generació) i genera economies d'escala tant en la seva utilització industrial

⁴ OECD (2003).

⁵ En el cas d'experiments proposats per ser realitzats en una instal·lació de llum de sincrotró, s'entén per *peer review*, o avaluació d'experts, el procés d'avaluació d'aquests experiments per especialistes reconeguts. Per raó de l'enorme demanda de temps d'utilització d'aquest tipus d'instal·lacions, només les propostes que són informades positivament pel consell científic de la instal·lació reben autorització per ser portades a terme.

Taula 1
Instal·lacions de llum de sincrotró a la Unió Europea

Ciutat	Instal·lació	Energia GeV	Ciutat	Instal·lació	Energia GeV
Karlsruhe (Alemanya)	ANKA	2,5	Grenoble (França)	ESRF	6
Berlín	BESSI I	0,7	Orsay (França)	LURE ACO	0,8
	BESSI II	1,7		SOLEIL	2,75
Dortmund (Alemanya)	DELTA	1,5	Frascati (Itàlia)	DAFNE	0,51
Bonn	ELSA II	1,5-3,5	Trieste (Itàlia)	ELETTRA	1,5-2
Hamburg	DESI	4,5	Chilton (Regne Unit)	DIAMOND	3
	HASILAB	7-14	Daresbury (Regne Unit)	SRS	2
<i>Dresden (Alemanya)</i>	<i>ROSI</i>	3		<i>SINBAD</i>	3
Aarhus (Dinamarca)	ASTRID I	0,6	Amsterdam	AmPS	0,9
	<i>ASTRID II</i>	1,4	Eindhoven (Països Baixos)	EUTERPE	0,4
Lund (Suècia)	MAX I	0,55	Villigen (Suïssa)	SLS	2,4
	MAX II	1,55	Cerdanyola del Vallès	ALBA	2,5

En cursiva apareixen les instal·lacions en fase de disseny o construcció. En negreta, les instal·lacions de tercera generació.

com en el seu ús amb finalitats d’avançar en el coneixement científic bàsic.

d) Augmentar la intensitat en la utilització del potencial científic de Barcelona i la seva àrea metropolitana.

Barcelona i la seva àrea metropolitana concentren un gran potencial de científics sorgits del seu excel·lent sistema universitari. No obstant això, és ben conegut que molts dels titulats de les universitats espanyoles en les disciplines científiques (al voltant del 20 %) acaben accedint al mercat laboral en llocs de treball que tenen poc a veure amb la seva capacitat científicotècnica. La presència d’aquesta gran instal·lació permetria l’atracció i la consolidació d’aquest potencial científic en l’àmbit que li és propi.

e) Millorar la capacitat del sistema de ciència i tecnologia espanyol per accedir a altres grans instal·lacions científiques europees.

El sistema espanyol produeix moltes propostes per a la utilització de grans instal·lacions científiques europees, però la falta d’experiència fa que el percentatge de propostes que supera el *peer review* sigui baix.⁶

f) Facilitar al sector manufacturer català i espanyol una gran instal·lació científica adaptada a les seves necessitats i interessos.

L’estructura del sector manufacturer català i espanyol recomana la utilització de línies (*beamlines*) amb una especialització concreta, el nivell de saturació de la qual és elevat a les altres fonts de llum

⁶ La proporció de propostes d’investigadors espanyols que són informades positivament pel consell científic de la font europea de llum sincrotró (ESRF) és només del 39 % (ABELA, 2001). Obviament, en aquest percentatge influeix també un sistema de quotes per països d’acord amb la seva participació en el finançament de l’ESRF.

de sincrotró europees.⁷ La construcció d'aquesta nova font de llum de sincrotró facilitaria múltiples experiments relacionats amb les tecnologies més útils per a les empreses catalanes i espanyoles.

g) Incidir directament en el benestar dels ciutadans.

Aquests nous productes incidirien directament en el benestar dels ciutadans, atès que moltes de les aplicacions de la llum de sincrotró estan relacionades, entre altres coses, amb millores dels aspectes següents:

- La salut dels ciutadans

Permet el desenvolupament de noves medicines més potents i l'objectiu del qual és molt localitzat, i evita els efectes secundaris de la utilització poc precisa de determinades proteïnes. Són els anomenats *fàrmacs de nova generació*. Aquests estudis estan basats en l'anàlisi de les estructures de les proteïnes a partir de mètodes de difracció per raigs X. A més a més, la llum de sincrotró permet nous desenvolupaments en la generació d'imatges de cèl·lules i teixits gruixuts, de gran utilitat en el diagnòstic mèdic (per exemple, la mamografia i l'angiografia), tècniques terapèutiques (radioteràpia) i disseny de materials mèdics (per exemple, la tomografia tridimensional).

- El control del medi ambient

La llum de sincrotró permet mesurar moltes petites concentracions de materials tòxics en el sòl, l'aigua o l'atmosfera. També es poden estudiar materials i energies per reduir les emissions tòxiques dels mitjans de transport.

Pel que fa a objectius concrets i quantificables, es podrien assenyalar els següents:

a) Augmentar el nivell tecnològic i la qualitat dels productes manufacturats catalans i espanyols i afavorir la utilització de la nova instal·lació per part de les empreses espanyoles.

La intensitat de la despesa en R+D de les empreses espanyoles és molt feble. Mentre que en els països de l'OCDE la despesa en R+D de les empreses representa entre el 70 i el 80 % de la despesa total en R+D, a Espanya només arriba al 52,4 %. A Catalunya, aquesta proporció és més propera a la dels altres països industrialitzats (el 66,8 %). La font de llum de sincrotró ALBA, donades les enormes possibilitats d'aplicació industrial, permetrà augmentar la intensitat de la recerca i el desenvolupament a les empreses espanyoles, el taló d'Aquilles de la situació actual.

b) Augmentar la utilització de grans infraestructures científiques per part dels investigadors espanyols.

En aquests moments, el nombre d'usuaris espanyols que realitzen experiments en fonts de llum de sincrotró (inclosos els estudiants de tesi i postdoctorals) se situa aproximadament entre 12 i 15 per milió d'habitants, mentre que en països que disposen d'almenys un sincrotró propi aquesta proporció s'eleva a un rang que pot arribar als 60 usuaris per milió d'habitants (Suècia, Estats Units o el Regne Unit).

c) Augmentar la despesa en recerca i desenvolupament a Catalunya i Espanya, que, en aquests moments, encara estan allunyats de la mitjana de la Unió Europea.

La despesa en R+D espanyola només arriba a l'1,03 % del PIB l'any 2002,⁸ i el català se situa en

⁷ Aquesta és una altra de les raons del percentatge moderat d'èxit en *peer review* de les propostes espanyoles, atès que la competència per a la utilització d'algunes línies és molt forta.

⁸ Dades provisionals publicades per l'INE el 15 de desembre de 2003.

l'1,27 %, mentre en el conjunt de la Unió Europea s'arriba a l'1,99 %.⁹ La nova font de llum de sincrotró permetria accelerar el procés de convergència a la mitjana de la Unió Europea en termes de la despesa en recerca i desenvolupament. En el període 1995-2001, la despesa en R+D a Espanya va créixer a un ritme mitjà anual del 6,5 %, enfront del 3,7 % de la UE (ambdós calculats en termes de dòlars del 1995 corregits per la paritat del poder de compra).

Aquests objectius apareixen recollits de diferents maneres entre els objectius fonamentals dels Fons Estructurals de la Unió Europea.

La demanda dels investigadors espanyols s'orienta cap a les fonts de llum de sincrotró anomenades de tercera generació, en les quals es puguin introduir dispositius d'inserció.

2. El projecte

El projecte consisteix en la construcció d'una font de llum de sincrotró a Cerdanyola del Vallès (ALBA) que aconseguirà un feix d'electrons amb energies en el rang d'almenys 2,5 GeV. El perímetre del seu anell serà de 260 m. El disseny inicial preveu la construcció de cinc línies experimentals. La construcció s'estendrà al llarg del període 2003-2008 i el pressupost total de construcció i equipament ascendirà a 164 milions d'euros. Per al seu funcionament es preveu la participació de 125 per-

sones que donaran suport científicotècnic a dos centenars de grups de recerca. El cost de funcionament serà d'aproximadament 14 milions d'euros anuals. Una comissió bipartita està desenvolupant les bases per a un acord de participació de França en la futura font de llum espanyola.

3. Factibilitat del projecte i anàlisi d'opcions

En aquest apartat s'analitzen diferents opcions alternatives al projecte que es presenta. En el cas d'aquest estudi, l'opció de no fer res (*do nothing*) no és rellevant, atès que actualment ja s'estan desenvolupant accions que es podrien considerar com a alternatives imperfectes a la construcció de la nova font de llum de sincrotró del Vallès. Les opcions de fer el mínim (*do minimum*) i de fer alguna cosa (*do something*) s'han agrupat en un mateix bloc, atès que, d'acord amb l'objecte d'estudi, es corresponen amb força exactitud.

Actualment, els investigadors catalans (i espanyols) que volen utilitzar una font de llum de sincrotró tenen diverses alternatives o opcions:

a) Construir una font de llum de sincrotró pròpia.

Els avantatges d'aquesta opció són diversos: en primer lloc, tal com mostra la taula 2, entre els científics espanyols interessats a utilitzar la llum de sincrotró, el 90 % estan interessats en la banda de raigs X de l'espectre.¹⁰ La majoria necessita una llum intensa en la banda d'energia compresa entre els 4.000 i els 30.000 eV i una llum molt brillant en la banda d'energies compreses entre els 100 i els 2.000 eV. Això significa que la demanda dels

⁹ Aquesta dada del 2002 és encara provisional i correspon a l'EU-15.

¹⁰ ABELA (2001), a partir de la identificació de 159 grups espanyols que utilitzaven la llum de sincrotró per a la seva investigació l'any 2000.

investigadors espanyols s'orienta cap a les fonts de llum de sincrotró anomenades *de tercera generació*, en les quals es puguin introduir dispositius d'inserció: onduladors que generin llum molt brillant en la regió dels raigs X febles i *wigglers* que generin llum intensa en la regió dels raigs X durs. Els resultats d'una enquesta realitzada amb anterioritat¹¹ mostraven un percentatge també elevat de desig d'utilització d'energies en la franja de l'espectre dels raigs X (el 72 %). L'augment de la proporció l'any 2000 indica una necessitat creixent d'aquesta franja de l'espectre.

Taula 2
Sol·licituds per rang d'energia

Rang d'energies	%
Infraroig (10 ⁻³ -10 ³ eV)	4
Visible (1-5 eV)	8
Ultraviolat proper (5-10 eV)	8
Ultraviolat llunyà (10-10 ² eV)	6
Raigs X febles (0,1-2 keV)	12
Raigs X (2-4 keV)	14
Raigs X (4-10 keV)	21
Raigs X (10-20 keV)	15
Raigs X (20-30 keV)	8
Raigs X durs	2
Raigs gamma	2

Font: CAPMANY (1995)

Ja s'ha comentat abans l'escassetat d'instal·lacions de tercera generació a la Unió Europea. La participació espanyola a l'ESRF i al LURE no es pot considerar una alternativa real per cobrir moltes d'aquestes necessitats. Per exemple, les característiques de l'ESRF (la generació fonamentalment de fotons en la regió dels raigs X normals o durs i la seva elevada energia) no permeten fer

servir dispositius d'inserció eficients per a la banda de raigs X febles ni energies menors. Per aquest motiu, disposar d'una font de llum pròpia, adequada a les necessitats de la indústria i els científics catalans i espanyols, és molt important.

D'altra banda, la utilització d'altres instal·lacions internacionals té limitacions tècniques importants. Per satisfer la demanda creixent de radiació optimitzada és necessari incrementar el nombre de dispositius d'inserció, però per aconseguir aquest objectiu d'augmentar el nombre de dispositius d'inserció cal augmentar el perímetre de l'accelerador. Com que els costos augmenten amb el quadrat del perímetre i no de manera lineal, els costos de participar en altres sincrotrons poden ser molt elevats si és necessari cobrir el cost de l'augment de mida necessari per incrementar els dispositius d'inserció. Així mateix, en augmentar la mida de l'anell es redueix la curvatura, cosa que, si no s'augmenta l'energia, provoca una radiació menor i es redueix la capacitat d'instal·lar moltes estacions.

A això cal afegir que la indústria i el sistema de ciència i tecnologia catalans i espanyols tenen unes característiques pròpies que requereixen unes línies dedicades molt específiques. La construcció d'una font de llum de sincrotró més petita i especialitzada permet optimitzar els recursos enfront dels costos de participació en la propietat de línies en altres fonts (opció *b*) i oferir serveis que altres instal·lacions europees no podrien oferir. Les línies disponibles en l'opció *b*) no permeten satisfer tota la demanda dels científics espanyols. Dels 460 «*shifts*»¹² sol·licitats per investigadors espanyols a l'ESRF en el període 1997-99 només se'n van acon-

¹¹ LSC, 1995.

¹² Un *shift* és la unitat bàsica de mesura del temps d'utilització de la radiació sincrotró i equival a 8 hores.

seguir al voltant de 180.¹³ Aquesta baixa taxa d'èxit està causada per la menor competitivitat de les propostes científiques espanyoles enfront de les presentades per investigadors de països que disposen d'una font de llum de sincrotró pròpia. Per aquest motiu, els científics espanyols han obtingut a l'ESRF el 3,38 % del temps total distribuït en el període 1999-2001, cosa que implica que el coeficient de just retorn és del 0,87 (enfront de l'ideal de l'1).¹⁴ A més a més, el nombre d'usuaris de la llum de sincrotró a Espanya és el més gran de tots els països sense instal·lacions pròpies.

b) Accedir a altres instal·lacions propietat d'altres països de la Unió Europea, o de fora de la Unió Europea, comprant el temps d'utilització.

La taula 3 mostra el nombre de grups espanyols en aquest tipus d'instal·lacions (no s'inclou l'ESRF, l'anàlisi del qual apareix en l'apartat del càlcul dels ingressos de l'anàlisi cost-benefici):

c) Utilitzar les línies propietat (o copropietat) de l'Estat espanyol en instal·lacions propietat d'altres països.

L'Estat espanyol va adquirir la línia BM25 (SpLine) a l'ESRF i finança, juntament amb el Departament d'Universitats, Recerca i Societat de la Informació (DURSI) de la Generalitat de Catalunya, la línia BM16, també a l'ESRF (des del 2003 i per un període de cinc anys). Amb anterioritat, gràcies a un acord entre la CICIT i la CIRIT, els usuaris espanyols van poder utilitzar (els anys 2001 i 2002) una línia pròpia, la BM14. El Consell Superior d'Investigacions Científiques (CSIC) disposa actualment d'una línia, en copropietat amb França, al LURE.

Taula 3
Nombre de grups espanyols que han utilitzat una font de llum de sincrotró en el període 1995-2000¹⁵

Instal·lació	Grups
BESSI (UE)	11
HASILAB (UE)	6
ELETTRA (UE)	4
LURE (UE)	17
SRS (UE)	15
MAX (UE)	2
ALS (EUA)	2
SRC (EUA)	2
NSLS (EUA)	2
Spring8 (Japó)	1
Photon Factory (Japó)	2
Total	64

L'anàlisi cost-benefici que apareix a les seccions següents mostra que la rendibilitat financera i econòmica del sincrotró del Vallès en justifica la construcció, fins i tot tenint en compte l'alternativa d'utilitzar altres fonts de llum de sincrotró ja construïdes, ja que s'utilitza com a cost d'oportunitat precisament el cost d'utilització d'una d'aquestes alternatives (en concret, l'ESRF).

4. Anàlisi financera

4.1. Metodologia i supòsits bàsics de l'anàlisi cost-benefici

L'anàlisi financera té com a objectiu utilitzar les prediccions dels fluxos de caixa del projecte per

¹³ ABELA, 2001.

¹⁴ MINISTERIO DE CIENCIA Y TECNOLOGÍA, 2004. El personal contractat espanyol a l'ESRF suposa el 3,58 % de la plantilla. Addicionalment, l'últim informe del *Centro para el Desarrollo Tecnológico Industrial* (CDTI, 2003) assenyala que els retorns industrials se situen al voltant del 24 % (0,61 milions d'euros). El 1999 eren del 41 %.

¹⁵ L'SRS britànic serà substituït properament pel nou sincrotró DIAMOND.

calcular taxes de rendibilitat interna (TRI) i el seu corresponent valor actualitzat net (VAN). Com que es tracta d'una anàlisi *ex ante*, les xifres que apareixen a les taules 4 a 7 es corresponen amb les previsions inicials sobre les quals es va basar la decisió de construcció de la font de llum de sincrotró ALBA. Una anàlisi *ex post* hauria d'utilitzar els desemborsaments efectivament efectuats cada any.

Per fer les taules pertinents que il·lustrin, en darrera instància, els resultats en termes de TRI i VAN que necessita l'anàlisi financera, cal definir acuradament els elements següents:

a) Horitzó temporal.

S'entén per horitzó temporal el nombre màxim d'anys pels quals es presenten les prediccions. En el nostre cas, es considera que l'horitzó temporal és de trenta-un anys. Aquesta hipòtesi està basada en el fet que es tracta d'una inversió en l'entorn energètic, que el període de construcció serà de sis anys (2003-2008) i que el període de funcionament per a aquest tipus d'inversions és de vint-i-cinc anys (2009-2033)¹⁶ un cop el sincrotró comença a ser operatiu.

b) Determinació dels costos totals.

És la suma dels costos d'inversió i els costos de funcionament que es descriuran mitjançant diversos escenaris en els apartats següents. En aquests costos no s'han d'incloure amortitzacions, reserves ni dotació per contingències i imprevistos, atès que no generen fluxos de caixa reals. Diferenciant per fases es poden analitzar els costos de construcció i els costos de funcionament del projecte:

Construcció i equipament

En el primer període (2003-2008), la majoria dels costos es generen per la construcció i el muntatge d'instal·lacions, el cost del personal i el cost dels terrenys. Pel que fa al cost físic, en la taula 4 s'ha desagregat en els costos de construcció i d'instal·lació (euros del 2003). S'observa que les grans partides del cost físic són els acceleradors, les línies experimentals, els serveis i l'enginyeria civil. Respecte al cost del personal, en la taula 5 s'observa la distribució del personal de la construcció que s'utilitza en aquesta fase. El salari mitjà per persona i any és de 46.125 euros. S'observa que el volum del personal de la construcció és creixent fins al 2006, quan arriba al seu màxim (vuitanta) per establir-se els dos darrers anys molt a prop d'aquesta xifra (setantacinc). Finalment, el cost (valor) dels terrenys també és de 13.209.340 euros, procedents del producte dels 60.000 m² pel valor del metre quadrat del sòl a la zona (220,15 euros). El cost dels terrenys es repartirà en quatre exercicis (2004-2007).

En el primer període (2003-2008), la majoria dels costos es generen per la construcció i el muntatge d'instal·lacions, el cost del personal i el cost dels terrenys.

Costos de funcionament de la instal·lació

Per al funcionament, les principals partides de costos són les de costos de personal i costos de béns i serveis. En la taula 6 s'observa la dis-

¹⁶ Xifra basada en l'horitzó temporal d'altres sincrotrons com ara el d'Austràlia o el de Canadà. També és similar a l'horitzó temporal recomanat per la UE per a grans instal·lacions.

Taula 4
Descomposició del cost anual d'inversió en les seves partides (en euros del 2003)

	2003	2004	2005	2006	2007	2008	TOTAL
1.1. Preinjector		4.784.147					4.784.147
1.2. Preaccelerador (2,5 GeV)			2.255.143	2.722.482	467.339	467.339	5.912.302
Imants			1.366.966	1.366.966			2.733.932
Potència			467.572	467.572			935.145
Radiofreqüència			420.605	420.605			841.210
Buit				467.339	467.339	467.339	1.402.016
1.3. Anell d'emmagatzematge (2,5 GeV)				5.391.453	7.322.730	4.857.519	17.571.702
Imants				1.828.463	1.828.463	1.828.463	5.485.388
Potència				1.097.779	1.097.779	1.097.779	3.293.336
Radiofreqüència					1.931.277	1.931.277	3.862.555
Buit				2.465.212	2.465.212		4.930.424
1.4. Línies de transferència					2.617.097	3.769.087	6.386.184
Imants					151.885	151.885	303.770
Potència						1.151.990	1.151.990
Radiofreqüència							0
Buit					2.465.212	2.465.212	4.930.424
1.5. Sistemes de diagnòstic					1.626.339	1.626.339	3.252.678
1.6. Sistemes de control			2.310.990	2.310.990	2.310.990		6.932.970
Maquinari (<i>hardware</i>)			1.931.277	1.931.277	1.931.277		5.793.832
Programari (<i>software</i>)			379.713	379.713	379.713		1.139.138
1.7. Posada a punt					1.355.282	1.355.282	2.710.565
Subtotal 1: Acceleradors	0	4.784.147	4.566.133	10.424.925	15.699.777	12.075.565	47.550.547
2.1. Sistemes d'inserció					1.931.277	1.931.277	3.862.555
2.2. Línies i estacions exp.				3.117.149	3.117.149	3.117.149	9.351.448
2.3. Sortides de llum				948.698	948.698	948.698	2.846.093
2.4. Control (maquinari)				135.528	135.528	135.528	406.585
2.5. Control (programari)				58.417	58.417	58.417	175.252
2.6. Posada a punt					914.816	914.816	1.829.631
Subtotal 2: Línies experimentals (5)	0	0	0	4.259.792	7.105.885	7.105.885	18.471.563
3.1. Refrigeració d'aigua			2.920.867	2.920.867			5.841.734
3.2. Distribució elèctrica		677.641					677.641
3.3. Altres (gasos, xarxes, etc.)			1.694.103				1.694.103
Subtotal 3: Serveis	0	677.641	4.614.970	2.920.867	0	0	8.213.478
4.1. Projecte	2.920.867						2.920.867
4.2. Preparació de terrenys	584.173						584.173
4.3. Construcció		5.841.734	5.841.734	1.460.434			13.143.902
Subtotal 4: Enginyeria civil	3.505.040	5.841.734	5.841.734	1.460.434	0	0	16.648.942
A. COST OBRA I EQUIPAMENT	3.505.040	11.303.522	15.022.837	19.066.018	22.805.662	19.181.451	90.884.530
B. TOTAL PERSONAL CONSTRUCCIÓ	1.014.750	1.983.375	2.767.500	3.690.000	3.459.375	3.459.375	16.374.375
C. TERRENYS (APORTACIÓ)	3.302.335	3.302.335	3.302.335	3.302.335		13.209.340	
TOTAL GENERAL (A+B+C)	4.519.790	16.589.232	21.092.672	26.058.353	29.567.372	22.640.826	120.468.244

Taula 5
Distribució del personal de construcció per anys (hipòtesi)

Any	2003	2004	2005	2006	2007	2008
Nombre de persones ocupades en la construcció	22	43	60	80	75	75

Taula 6
Distribució del personal de funcionament per anys i per funcions (hipòtesis)

Hipòtesis utilitzades	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009 i següents
Nombre total de persones per al funcionament	4	8	8	30	55	55	125
Gestió	4	8	8	15	15	15	15
Acceleradors				15	15	15	30
Línies					15	15	30
Suport tècnic					10	10	50
Cost mitjà per persona i any	46.125	46.125	46.125	46.125	46.125	46.125	46.125

Nota: el creixement del personal de funcionament el 2009 és degut a l'absorció de part del personal de la construcció.

tribució del personal de funcionament al llarg dels anys i, també, en les diferents àrees de funcionament. S'observa que el personal de funcionament durant la fase de construcció arriba al seu màxim un cop acabada aquesta fase, a causa de l'absorció de gran part del personal de la construcció. Els 125 treballadors es mantindran durant tot el període operatiu. D'altra banda, si bé en un principi el personal procedeix de l'àrea de gestió, a mesura que la construcció avança s'incorpora personal als acceleradors, les línies i el suport tècnic. Un cop acabada la fase de construcció, la major part del personal es concentra en aquestes tres àrees, especialment en l'àrea de suport tècnic, que absorbeix més de la meitat del personal de la construcció. El salari mitjà del personal torna a ser de 46.125 euros. En la taula 7 es presenta la previsió de costos de funcionament.

c) Determinació dels ingressos.

La qüestió més complicada de l'anàlisi financera de grans infraestructures científiques és l'avaluació dels ingressos, que, en la seva major part, provenen d'inversions públiques destinades a la recerca i el desenvolupament. Es pot considerar que el cost d'oportunitat d'un *shift* de la nova font de llum de sincrotró espanyola seria el cost que l'Estat espanyol paga per cadascun dels *shifts* utilitzats en l'ESRF. La contribució de l'Estat espanyol a l'ESRF és de 2,65 milions d'euros el 2003.¹⁷

Les dades per al càlcul dels ingressos són les següents:

- A l'ESRF se sol·liciten anualment uns 24.585 *shifts* (196.680 hores) per a les seves trenta lí-

¹⁷ La participació al LURE comporta un cost de 99.000 euros anuals. La seva construcció va suposar un cost de 2,4 milions d'euros del 1999. Per la seva part, els costos de funcionament de la nova BM16 han pujat a 320.000 euros l'any 2003 i el seu cost va ser de 2,7 milions d'euros.

Taula 7
Previsió de costos de funcionament

	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2003-2008	2009 i seg.
Personal de funcionament (preus 2003)	184.500	369.000	369.000	1.383.750	2.536.875	2.536.875	7.380.000	5.765.625
Revisió salarial	0	9.225	18.681	34.594	184.500	333.366	659.226	920.732
Total personal de funcionament (preus corrents)	184.500	378.225	387.681	1.418.344	2.800.235	2.870.241	8.039.226	6.686.357
Béns i serveis (preus 2003)	4.613	6.150	6.150	1.025.000	3.075.000	5.125.000	9.241.913	6.150.000
Actualització inflació	0	154	311	25.625	319.225	673.467	1.018.782	982.115
Total béns i serveis (preus corrents)	4.613	6.304	6.461	1.050.625	3.394.225	5.798.467	10.260.694	7.132.115
Altres (preus 2003)	1.538	5.125	9.225	107.625	307.500	410.000	841.013	205.000
Actualització inflació	0	128	467	2.691	31.922	53.877	89.086	32.737
Total altres (preus corrents)	1.538	5.253	9.692	110.316	339.422	463.877	930.098	237.737
TOTAL FUNCIONAMENT (preus 2003)	190.650	380.275	384.375	2.516.375	5.919.375	8.071.875	17.462.925	12.120.625
ACTUALITZACIÓ INFLACIÓ	0	9.507	19.459	62.909	614.507	1.060.711	1.767.093	1.935.584
TOTAL FUNCIONAMENT (preus corrents)	190.650	389.782	403.834	2.579.284	6.533.882	9.132.586	19.230.018	14.056.209

Imports en euros.

nies públiques. D'aquestes sol·licituds, superen la *peer review* el 48 %; per tant, la quantitat total de *shifts* assignats és d'11.759 (94.072 hores).

- La quota espanyola a l'ESRF suposa el 4 % del total. No obstant això, per raó de l'enorme competitivitat de les sol·licituds de països que disposen d'una font de llum de sincrotró pròpia (com ara França, Alemanya i el Regne Unit), el retorn espanyol se situa de mitjana al voltant del 3,4 %. Per la seva part, la taxa d'èxit de les sol·licituds espanyoles és només del 39 %. Segons això, de les 1.025 sol·licituds espanyoles de l'últim any només 399 superaran la *peer review*. Això no vol dir que els experiments que es realitzaran en el nou sincrotró siguin de menor qualitat. Com s'ha assenyalat més amunt, la nova instal·lació estarà més ben preparada per fer experiments més propers a la realitat

científica, tecnològica i industrial espanyola. Altres sincrotrons, per les seves característiques peculiars, poden no ser els més apropiats per a aquesta realitat. Així mateix, es produirà un efecte de substitució, atès que alguns dels experiments que actualment es duen a terme a altres sincrotrons i que, per tant, superen la *peer review* es traslladaran al nou sincrotró del Vallès.

- Tenint en compte la quota anual espanyola i el nombre efectiu de *shifts* aconseguits es pot calcular un cost unitari de 6.628 euros per *shift*. L'ingrés per cada *shift* s'actualitza utilitzant la mateixa taxa d'inflació que en el cas dels costos.
- Un sincrotró, per terme mitjà, està operatiu 230 dies l'any, tenint en compte que dels 365 dies de l'any és necessari dedicar-ne 52 a conservació i 83 a intervencions sobre la màquina (restablir els feixos de llum, fer la posada a punt, etc.). Suposem que el sincrotró del Vallès es-

tarà operatiu 230 dies; cada dia té tres *shifts* de vuit hores, i, finalment, és prevista la construcció de cinc línies. D'aquesta manera, el nombre de *shifts* potencialment assignables és de 3.450.

- La demanda per al 2003 es calcula com la demanda insatisfeta per l'ESRF (*shifts* sol·licitats no concedits). Aquesta quantitat és de 626 *shifts*. A partir d'aquest any es considera que la demanda de sol·licituds evolucionarà a la mateixa taxa que en el període 1995-2002 (taxa de creixement mitjà anual del 16,9 %) fins a l'any 2008. A partir d'aquesta data es considera que la utilització es duplica els primers quatre anys (taxa mitjana anual del 25,9 %) i, a partir de llavors, es duplica cada sis anys.¹⁸ Segons aquests càlculs, el cinquè any després de la finalització de la construcció, la instal·lació estarà al límit de la seva capacitat.¹⁹
- Aquestes taxes de creixement són elevades, encara que no són sorprenents si es té en compte que la comunitat d'usuaris de llum de sincrotró creix exponencialment.²⁰ L'experiència internacional recent valida el punt anterior. Per exemple, el nou sincrotró de Berlín va assolir el seu objectiu de demanda per al cinquè any en menys de tres anys. Actualment té quaranta línies en funcionament, però s'està plantejant la construcció de moltes altres. Per la seva banda, l'*Advance Light Source* (ALS) de San Francisco experimenta una demanda creixent de línies per fer front a les necessitats de la indústria i del sector científic. En només cinc anys, l'ALS ha afegit vint-i-una noves línies,²¹ cinc de les quals estan dedicades a la cristal·lografia de les proteïnes. De fet, als Estats Units, encara que

la capacitat per a experiments sobre cristal·lografia amb llum de sincrotró es va doblar entre el 1991 i el 1997, la demanda continua superant l'oferta per un factor de 2. El sincrotró de Brasil, en només dos anys, era utilitzat per 400 usuaris. El MAX I suec estava *overbooked* entre tres i quatre vegades la seva capacitat a mitjan anys noranta.²² L'experiència internacional suggereix que l'ús de les instal·lacions de llum de sincrotró nacionals es duplica durant els primers quatre anys i, després, cada sis anys.²³

La qüestió més complicada de l'anàlisi financera de grans infraestructures científiques és l'avaluació dels ingressos, que, en la seva major part, provenen d'inversions públiques destinades a la recerca i el desenvolupament.

En aquest punt és important assenyalar que els «ingressos» que es consideren provindran, en la seva major part, de projectes de recerca finançats amb fons públics. La previsió és que la utilització industrial de la instal·lació sigui del 5 % (almenys durant els primers anys). L'ús industrial de les fonts de llum de sincrotró se situa entre el 5 i el 20 %, depenent de la seva localització i del tipus d'estacions de què disposin. A la part superior del rànquing ens trobem amb l'*Advance Photon Source*

¹⁸ Són paràmetres acceptats per a l'evolució de la demanda basats en l'experiència internacional (HOUGHTON *et al.*, 1999).

¹⁹ És previst que en el futur es puguin construir noves línies i estacions. No obstant això, el seu cost no apareix reflectit en els càlculs de costos d'aquesta anàlisi cost-benefici.

²⁰ BIRGENAU i SHEN, 1997.

²¹ El nombre d'usuaris s'aproximarà als 1.700 a finals del 2003.

²² DRI/MCGRAW HILL (1996).

²³ CFSES (1999).

amb el 23 %, l'*Advance Light Source* amb el 25 % i l'*Stanford Synchrotron Light Source* amb el 30 %, tots tres als Estats Units. Amb una proporció intermèdia d'utilització industrial es poden citar el *National Synchrotron Light Source*, també dels Estats Units, amb el 15 %, el MAX II suec amb el 10 % (planejat) i el *Photon Factory* del Japó amb el 17 %.

Altres fonts de llum de sincrotró tenen una menor proporció d'ús industrial. Per exemple, a l'ESRF, el temps comercial de les estacions s'aproxima a l'1 %, ²⁴ al HASYLAB no supera l'1,5 %, mentre que al LURE suposa el 5 % del temps. ²⁵ Finalment, a l'SRS anglès el temps d'ús comercial oscil·la entre el 2 i el 3 %.

d) Valor residual.

Únicament es considerarà si proporciona un flux real per a l'inversor. Es pot calcular de dues maneres: considerant el valor de mercat residual com si s'hagués de vendre al final de l'horitzó temporal previst o considerant el valor residual de tots els acciis i els passius. En aquest cas es considera com a valor residual el valor a preus corrents dels terrenys utilitzats per a la construcció del sincrotró. ²⁶

e) Ajustament per inflació.

A l'anàlisi de fluxos financers es considera més apropiat emprar els preus corrents que no pas els constants, i així es recomana a la guia. En el nostre cas, s'ha suposat una taxa d'inflació del 2,5 % constant per al període a l'hora de fer les actualitzacions. Aquesta xifra sembla bastant representativa de la mitjana inflacionària esperada per l'economia espanyola durant aquest període.

f) Sostenibilitat financera.

El finançament a partir de pressupost públic garanteix la sostenibilitat financera del projecte.

g) Determinació del tipus de descompte.

S'ha de definir un tipus de descompte adequat per restar els fluxos financers i calcular el valor actualitzat net (VAN). El concepte clau per tal d'estimar el tipus de descompte és el cost d'oportunitat de capital. A Espanya és bastant habitual utilitzar el 4 % com a tipus de descompte. ²⁷ En el nostre context, aquesta xifra es justifica per un cost d'oportunitat esperat dels fons utilitzats en el projecte (tipus d'interès de mercat) que reflecteix el tipus de rendiment que es pot obtenir en qualsevol inversió alternativa del 6,5 %. Ara bé, si s'utilitzen valors corrents, el tipus de descompte també s'ha de mesurar en termes corrents. Per tant, a la xifra anterior se li ha de deduir la taxa d'inflació esperada, fixada en el 2,5 %.

4.2. Resultat de l'anàlisi financera

Els indicadors utilitzats per a l'anàlisi financera són la taxa de rendibilitat interna financera (TRI), el valor financer actualitzat net (VAN) i la ràtio de benefici sobre cost (B/C). El VAN es defineix com:

$$VAN(S) = \sum_{t=0}^n a_t S_t = \frac{S_0}{(1+i)^0} + \frac{S_1}{(1+i)^1} + \dots + \frac{S_n}{(1+i)^n}$$

On S_n són els fluxos nets en el moment n i a_t és el factor de descompte financer escollit per descomptar.

²⁴ Si es pren com a temps comercial la col·laboració entre acadèmics i indústries, aquest percentatge puja al 5 %.

²⁵ El 15 % es comptabilitza la col·laboració entre acadèmics i indústries.

²⁶ Per calcular el valor final dels terrenys el 2033 s'ha utilitzat la taxa d'inflació considerada al llarg del projecte (el 2,5 %).

²⁷ A títol il·lustratiu, vegeu el projecte ITER o el Gran Telescopi de les Canàries.

En canvi, la TRI es defineix com la taxa de rendibilitat que iguala a zero el valor actualitzat net de la inversió. D'aquesta manera:

$$VAN(S) = \sum_{t=0}^n S_t / (1 + TRI)^t = 0$$

Utilitzant les dades i els supòsits que s'han esmentat més amunt s'obtenen per a l'anàlisi financera (escenari bàsic) els resultats que es presenten en la taula 8. Les característiques que presenta l'escenari bàsic són les següents:

- La taxa d'inflació és del 2,5 %.
- Els dies d'obertura de la instal·lació són 230.
- La demanda satura la instal·lació al cap de cinc anys.

Respecte al VAN, en general els resultats són positius i, en concret, obtenim un VAN de 58,5 milions d'euros del 2003. Alterant la taxa de descompte s'obté una primera aproximació a la sensibilitat dels supòsits. En l'escenari bàsic, si la taxa de descompte fos del 5 %, el VAN seria de 30,7 milions, mentre que si fos del 2,5 %, el VAN ascendiria a 114,8 milions d'euros del 2003.

Per la seva banda, la TRI és del 6,5 %, mentre que la ràtio beneficis sobre costos se situa en 1,14. A la *Guide to cost benefit analysis of investment projects*, preparada per la Unitat d'Avaluació de la Direcció General de Política Regional de la Comissió Europea,²⁸ s'assenyala que fins i tot una TRI molt reduïda o negativa no invalida el projecte, atès que és possible que pugui assolir els seus objectius.

Un aspecte important en l'anàlisi cost-benefici és la sensibilitat dels resultats de l'escenari

Taula 8
Indicadors a l'escenari bàsic

Indicadors	Valors
VAN (5 %)	30,7 M€
VAN (4 %)	58,5 M€
VAN (2,5 %)	114,8 M€
B/C	1,14
TRI	6,5 %

bàsic davant de canvis en els paràmetres fonamentals utilitzats en el càlcul (canvis a la inflació, als dies efectius d'obertura de la instal·lació i al temps fins a la saturació de la instal·lació).²⁹

a) Efecte de la inflació.

L'efecte de la inflació és potencialment molt important, atès que els ingressos es percebran en el futur, mentre que la majoria dels costos es produeixen a l'actualitat. La taula 9 mostra els resultats de la sensibilitat dels diferents indicadors a canvis en la inflació. S'hi pot observar que la TRI oscil·la entre el 6 % (inflació del 2 %) i el 7 % (inflació del 3 %). Per la seva banda, el VAN amb descompte al 4 % se situa entre els 75,2 milions d'euros i els 43,5 milions.

Taula 9
Sensibilitat dels indicadors a canvis de la inflació

Inflació →	2,5 %	2 %	3 %
VAN (5 %)	30,7 M€	18,8 M€	44,0 M€
VAN (4 %)	58,5 M€	43,5 M€	75,2 M€
VAN (2,5 %)	114,8 M€	93,6 M€	138,5 M€
B/C	1,14	1,11	1,17
TRI	6,5 %	6,0 %	7,0 %

²⁸ EVALUATION UNIT (DG REGIONAL POLICY), 2001.

²⁹ Els dos primers supòsits de l'escenari bàsic es mantenen, atès que l'IVA no s'hi ha d'incloure per motius metodològics.

b) Efecte del nombre efectiu de dies d'obertura de la instal·lació.

Un altre paràmetre molt important en el càlcul dels costos i els beneficis del projecte és el nombre efectiu de dies d'obertura de la instal·lació. En l'explicació dels ingressos ja s'ha assenyalat la importància d'aquest valor per al càlcul. La taula 10 mostra la sensibilitat dels resultats als canvis en el nombre de dies d'obertura de la instal·lació:

Taula 10
Sensibilitat dels indicadors als canvis en el nombre efectiu de dies d'obertura

Dies →	230	210	240
VAN (5 %)	30,7 M€	4,6 M€	43,7 M€
VAN (4 %)	58,5 M€	27,1 M€	74,1 M€
VAN (2,5 %)	114,8 M€	73,1 M€	135,7 M€
B/C	1,14	1,05	1,17
TRI	6,5 %	5,2 %	7,0 %

Com es pot veure, una disminució del 9,5 % en el nombre de dies d'obertura provocaria una reducció del VAN de referència (4 %) de 21,4 milions d'euros, tot i que la TRI continuaria superant el 5 %. No és previsible que una disminució tan important (propera al 10 %) en el nombre de dies d'obertura es pugui produir, malgrat que, en moments concrets, problemes no previsibles en el funcionament de la instal·lació puguin comportar alguna reducció en el nombre mitjà de dies, que sempre seria petita. Per contra, si el nombre mitjà de dies arribés als 240, aleshores la TRI arribaria al 7 %.

c) Efecte de canvis en la demanda.

En aquest cas es consideren diverses opcions sobre el moment de saturació de la instal·lació. La

base són cinc anys després de la construcció, tenint en compte les dues hipòtesis fonamentals amb les quals es treballa en aquest tipus d'instal·lacions: la utilització inicialment es dobla cada quatre anys i, a partir d'aquesta data, cada sis. No obstant això, l'experiència en altres fonts de llum de sincrotró aconsella considerar també els quatre anys com a període de saturació, atès que en molts casos la saturació es va produir molt de pressa. Com a escenari pessimista s'utilitza un període de vuit anys fins a la saturació de la instal·lació. La probabilitat d'aquest escenari és pràcticament nul·la, però pot servir com a referència addicional.

La taula 11 mostra que els indicadors són poc sensibles a canvis en els anys necessaris fins a la saturació de la instal·lació. El rang de variació de la TRI oscil·la entre el 6,6 % (quatre anys) i el 5,5 % (vuit anys), mentre que el VAN de referència (el 4 %) es mou entre els 36,8 milions d'euros i els 61,1 milions.

Taula 11
Sensibilitat dels indicadors a canvis en el període de saturació

Anys fins a saturació →	5	8	4
VAN (5 %)	30,7 M€	11,0 M€	33,0 M€
VAN (4 %)	58,5 M€	36,8 M€	61,1 M€
VAN (2,5 %)	114,8 M€	89,9 M€	117,7 M€
B/C	1,14	1,08	1,14
TRI	6,5 %	5,5 %	6,6 %

5. Anàlisi econòmica

L'anàlisi econòmica, d'altra banda, té com a objectiu determinar la contribució del projecte al benestar de la regió o el país. Per tant, ara els subjectes d'interès són tota la societat, en comptes

del propietari de la infraestructura. Per tal de fer la transició de l'anàlisi financera a l'econòmica s'han de tenir presents els aspectes següents: les correccions fiscals, les externalitats que pugui generar la instal·lació i els factors de correcció dels preus de mercat. Així mateix, cal fer una valoració d'aquells aspectes que, per la dificultat en el mesurament, no es poden analitzar de manera quantitativa.

5.1. Correccions fiscals

Per tal d'eliminar les distorsions que els impostos i els subsidis introdueixen en els preus de mercat s'han de fer les correccions fiscals pertinents. En general, es tracta de considerar els preus de l'anàlisi cost-benefici nets d'IVA³⁰ i d'altres impostos indirectes i bruts dels impostos directes. S'han d'ometre les transferències pagades als individus, com ara la Seguretat Social. En el nostre cas, es tracta d'incloure l'import dels impostos directes, ja que els costos i els ingressos que es presenten a l'anàlisi financera estan nets de qualsevol tipus d'impost i transferència individual. En particular, cal afegir l'import previst de l'impost de béns immobles (IBI), l'impost d'activitats econòmiques (IAE), la taxa de llicències urbanístiques i l'impost de construccions, instal·lacions i obres. En el nostre cas, els imports són els següents:

- Impost de béns immobles (IBI)

Segons la informació extreta de les ordenances fiscals de l'Ajuntament de Cerdanyola del Vallès, el tipus al qual haurà de fer front el sincrotró serà del 0,612 %. Es pot considerar com a base imposable el valor dels terrenys (que, pel que sembla, estan valorats segons el seu

valor cadastral), degudament actualitzats anualment. La quota tributària serà, per tant, de 80.841,14 euros més l'actualització corresponent.

- Impost d'activitats econòmiques (IAE)

El setembre del 2003 se n'ha sol·licitat l'exempció. Encara no hi ha resolució oficial; això no obstant, es treballarà amb el supòsit que es concedeix.

- Impost de construccions, instal·lacions i obres

La seva base imposable és el cost real i efectiu de la construcció, la instal·lació i l'obra. Es tracta d'un pagament únic. Atesos els costos de la inversió a preus corrents del 2003 (aplicant un tipus del 3,4 %), la quota tributària serà de 4.925.941,80 euros.

- Taxa de llicències urbanístiques

En el cas d'una obra de nova planta, la base imposable és el cost real de l'obra, i el tipus que cal aplicar, l'1,5 %. D'aquesta manera, la quota tributària corresponent serà de 2.173.165,50 euros.

Tanmateix, no s'han inclòs aquests costos en l'anàlisi econòmica, perquè, al mateix temps que generen un flux de costos procedent del pagament de les seves quotes, també generen un ingrés fiscal per la societat.

5.2. Correccions per externalitats

Aquestes correccions es poden agrupar en quatre apartats: els efectes negatius causats per la utilització d'energia provinent d'un proveïdor que

³⁰ L'IVA ja no ha estat considerat en l'anàlisi financera.

utilitza centrals tèrmiques tradicionals, els efectes positius sobre el capital humà, els efectes positius sobre els productes i els serveis que proporcionen les empreses, i l'estalvi de temps.

La generació de l'energia elèctrica necessària per al funcionament del sincrotró del Vallès suposarà l'emissió de 22.962 tones de CO₂ per any, atesa la mitjana ponderada d'emissió de CO₂ per kWh de les empreses elèctriques espanyoles.

a) La utilització d'energia i els seus efectes ambientals.

Entre els costos de funcionament d'una instal·lació de producció de llum de sincrotró destaca la despesa en energia elèctrica. Una instal·lació de grandària mitjana, com la proposada, esmerça aproximadament el 15 % dels seus costos de funcionament en el pagament pel subministrament elèctric.

En el cas del sincrotró del Vallès, l'energia elèctrica serà proporcionada amb una probabilitat elevada per alguna empresa de la xarxa elèctrica espanyola. Diferents tipus d'instal·lacions generen diferències importants en l'emissió de CO₂. A Es-

panya, les centrals de carbó emeten 1,04 kg per kWh; les de fuel i gas, 0,802 kg; les de cycle combinat, 0,365 kg, i, finalment, les nuclears no emeten CO₂.³¹ Les companyies elèctriques també generen diferents nivells d'emissió d'acord amb la proporció de cada tipus de central en la generació elèctrica. En particular, Hidrocantàbrico emet 0,916 kg de CO₂ per kWh de producció, mentre que Endesa n'emet 0,563 kg/kWh; Unión Fenosa, 0,559 kg/kWh, i Iberdrola, 0,149 kg/kWh.³²

La despesa anual d'energia elèctrica del sincrotró del Vallès serà aproximadament de 42.933 MWh.³³ Tenint en compte la pèrdua del 10 % pel transport, la generació de l'energia necessària per al funcionament del sincrotró del Vallès i la mitjana ponderada de les emissions de CO₂ per kWh de les empreses elèctriques espanyoles (0,535 kg/kWh) suposarà l'emissió de 22.962 tones de CO₂ per any.

Per transformar l'emissió anterior en un cost econòmic és necessari valorar-la. Davant de la gran varietat d'estimacions d'aquest cost s'ha decidit prendre la que es basa en el mecanisme de mercat, el millor senyal de l'autèntic cost de les emissions. El 12 de desembre de 2002 va tenir lloc la primera subhasta de crèdits de reducció d'emissió de CO₂ a Alemanya, l'anomenada *subhasta Hesse-Tender*. El preu per reducció de tona de CO₂ va ser de 6,58 euros. Aquesta és la primera vegada que un mercat ha valorat un crèdit per reduir les emissions de CO₂. Per tant, es considera que el cost esmentat l'any 2002 és de 6,58 euros.³⁴

³¹ Òbviament, aquest factor d'emissió depèn més específicament de la naturalesa exacta de la planta generadora, atès que dins de cadascuna de les grans tipologies que apareixen en el text hi ha subclasses. Vegeu GAMBINI i VELLINI (2000), per als factors de diferents tipus de plantes generadores d'energia elèctrica.

³² La mitjana d'emissió a la Unió Europea és de 353 kg/kWh.

³³ La potència instal·lada serà probablement de 7 MW.

³⁴ Els càlculs anteriors de NORDHAUS el 1991 (9 dòlars per tona) i del Ministeri de Foment espanyol el 1996 (984 pessetes per tona) s'aproximaven força a aquesta xifra. En el mercat no oficial de compra i venda de drets d'emissió, els preus a principis del 2004 se situaven en 7 euros per tona, si bé a mitjan 2004 la cotització havia augmentat a 10 euros. La franja habitual de moviment es troba entre 6 i 13 euros.

D'aquesta manera, el 2003, el cost social (externalitat) de l'emissió de CO₂ deguda a la producció de l'energia necessària per al funcionament de la nova instal·lació es pot estimar en 151.138 euros.

b) Els efectes sobre el capital humà.

És ben conegut que els tècnics qualificats i els titulats universitaris tenen més problemes en el mercat laboral espanyol que a la resta de la Unió Europea. No solament les seves taxes d'atur són superiors a les de la resta dels països de la Unió, sinó que, a més a més, els seus coneixements adquirits són infrutilitzats. Segons les dades de l'enquesta de la Unió Europea CHEERS, el 17,9 % dels titulats universitaris espanyols assenyalen que, per fer les feines del seu lloc de treball, no seria necessari haver realitzat estudis universitaris.³⁵ Un altre 11,2 % assenyalen que amb un títol de grau inferior (per exemple, enginyer de grau mitjà en lloc de superior) tindria coneixements suficients per a la feina que fa. En conjunt, la sobrequalificació ascendiria al 30,1 %. Per branques d'estudis entre els titulats de ciències experimentals i de la salut (els màxims beneficiaris de la posada en marxa de la instal·lació), la suma d'aquestes dues proporcions se situa en el 20 %.

La producció de titulats universitaris que no treballen en feines apropiades té costos diversos: d'una banda, el cost social que comporta formar amb fons públics un treballador la productivitat del qual no es correspondrà amb els recursos dedicats a la seva formació; d'una altra banda, el cost d'oportunitat del temps que ha dedicat a estudiar en comptes d'estar produint, i, finalment,

el malestar psicològic de veure frustrades les seves expectatives en fer una feina que no es correspon amb el seu nivell de qualificació.³⁶

En el càlcul de la reducció en el nivell de desajustament degut a les possibilitats obertes per la font de llum de sincrotró per a la realització de treballs especialitzats d'R+D en les empreses que es veuran beneficiades per la instal·lació s'utilitzen les dades següents:

1. El cost per any de formació d'un universitari en ciències experimentals és de 7.212 euros. La durada estimada és de quatre anys d'estudis, de manera que el cost d'oportunitat dels fons destinats a formar un jove universitari en ciències experimentals que després no utilitzarà en el seu lloc de treball els coneixements adquirits seria de 28.851 euros.
2. El salari mitjà d'un treballador amb estudis inferiors a estudis universitaris (cost d'oportunitat del temps destinat a l'estudi) és de 24.500 euros per any.
3. Considerant que vint-i-cinc anys suposen la meitat de la vida laboral d'un treballador i que la probabilitat d'un treballador qualificat de la branca experimental d'estar sobrequalificat és del 20 % (segons les dades que s'han exposat més amunt), el benefici addicional per evitar aquesta situació per als llocs de treball totals (directes, indirectes i induïts) creats per al projecte (720)³⁷ és de prop de 89,1 milions d'euros en total. Aquesta xifra es correspon amb uns 365.332 euros per any.
4. Estudis internacionals publicats a la revista *Economics of Education Review* mostren que els treballadors que tenen un lloc de treball

³⁵ Vegeu GARCÍA-MONTALVO, 2001.

³⁶ L'últim punt (el malestar psicològic) és molt difícil de mesurar i no es prendrà en consideració aquí.

³⁷ Inclou llocs de treball creats a Catalunya i a la resta d'Espanya.

apropiat al seu nivell de qualificació obtenen una rendibilitat per any d'estudis superior en el 2 % a aquells que indiquin que estan sobrequalificats. Suposant que el salari és un reflex de la productivitat i tenint en compte un salari per als treballadors qualificats de 45.000 euros i les dades anteriors (720 ocupacions i el 20 % de probabilitat de sobrequalificació), el resultat són 518.400 euros per any.

5. Per tant, l'efecte econòmic sobre el capital humà es podria valorar en 883.733 euros.

c) Els efectes de l'increment en la inversió en innovació.

Un punt important dels que es consideren en l'anàlisi econòmica com una externalitat és l'impacte de la font de llum de sincrotró sobre la innovació de les empreses. És ben conegut que aquestes instal·lacions científiques generen enormes sinergies amb el sector industrial, atesa l'enorme varietat d'aplicacions de la llum de sincrotró en les manufactures (noves medicines, aparells de diagnòstic mèdic, nanotecnologia, cosmètics, indústria alimentària, etc.).

Encara que és difícil quantificar l'efecte sobre la innovació industrial (nous productes i nous processos) de la construcció d'una font de llum de sincrotró, la seva avaluació resulta imprescindible. Algunes vegades, la quantificació es produeix a partir de suposar una convergència als nivells de recerca i desenvolupament dels països que disposen d'una instal·lació de llum de sincrotró.³⁸

La taula 12 mostra el que suposa en percentatge del PIB respecte la despesa en R+D dels diferents països de l'OCDE i la del conjunt de la Unió Europea. S'han assenyalat amb negreta els paï-

Taula 12
Despesa en R+D com a percentatge del PIB

	2001	2003
Canadà	1,94	-
Estats Units	2,82	2,59
Austràlia	1,53	-
Japó	3,09	3,15
Corea del Sud	2,96	-
Àustria	1,90	2,37
República Txeca	1,30	-
Dinamarca	2,19	2,62
Finlàndia	3,40	3,49
França	2,20	2,15
Alemanya	2,49	2,51
Hongria	0,95	0,95
Islàndia	3,06	-
Irlanda	1,17	1,12
Itàlia	1,07	1,16
Països Baixos	1,94	1,80
Noruega	1,62	-
Polònia	0,67	0,56
Portugal	0,83	0,79
República Eslovaca	0,65	0,58
Espanya	0,96	1,05
Suècia	4,27	4,27
Suïssa	2,63	-
Turquia	0,64	-
Regne Unit	1,90	1,89
Unió Europea	1,93	1,93
Total OCDE	2,33	-

Font: OCDE (2003) i UE (2005).

sos que tenen una font de llum sincrotró al seu territori. La mitjana de despesa en recerca i desenvolupament dels països que disposen d'un sincrotró és del 2,45 % del PIB, mentre que la mitjana dels que no disposen d'aquest tipus d'ins-

³⁸ Aquest és el cas de l'anàlisi de l'impacte econòmic del sincrotró d'Austràlia.

tal·lacions és de l'1,43 %. A Espanya, la proporció només arriba al 0,96 %.

Alguns estudis han intentat aproximar els efectes sobre la producció de la disposició d'una font de llum pròpia a partir de suposar que el país d'instal·lació s'aproximaria a la mitjana de despesa en R+D dels països que disposaven de sincrotró propi. No obstant això, la causalitat inversa d'aquesta relació impedeix una utilització raonable d'aquesta hipòtesi de convergència tecnològica: és cert que els països que tenen una font de llum de sincrotró al seu territori poden invertir més en R+D gràcies a això, però no és menys cert que tenir una proporció elevada sobre el PIB de despesa en R+D fa que sigui més fàcil la construcció de la font de llum. No sembla factible suposar que la despesa espanyola en R+D pugui arribar al 2,45 % degut a la construcció del sincrotró,³⁹ i tampoc no és fàcil decidir quina part d'aquesta convergència es pot deure a aquesta instal·lació.

Una aproximació més raonable es basa en l'estructura sectorial de l'economia espanyola. És ben conegut que no tots els sectors tenen la mateixa intensitat tecnològica ni que tots es beneficiaran igualment de les possibilitats que oferirà la disponibilitat d'una font de llum de sincrotró. L'estudi d'impacte econòmic complementari a aquest informe cost-benefici assenyalava que l'impacte sobre el valor afegit una vegada acabada la construcció de la font de llum de sincrotró serà aproximadament d'uns 16,6 milions d'euros anuals. Utilitzant l'estructura sectorial de l'economia espanyola, es pot fer una aproximació als sectors que es veuran més beneficiats per aquest increment del valor afegit.

La taula 13 utilitza les dades de l'EITE (*Encuesta sobre Innovación Tecnológica de las Empresas*) de l'INE per calcular la intensitat innovadora de cada sector de l'economia espanyola. Sumant totes aquestes noves inversions en innovació resulta un total de 351.888 euros anuals. Les taxes de rendibilitat de la inversió en innovació oscil·len entre el 40 i el 60 % segons estudis internacionals. Per tant, l'impacte sobre nous processos i nous productes de les empreses serà de 527.832. Aquesta estimació és molt conservadora, atès que si, per exemple, la recerca amb llum de sincrotró donés lloc a una nova droga amb grans aplicacions comercials (antiretroviral, antimalària, contra el càncer, etc.), l'impacte de la inversió en innovació tindria una magnitud molt superior.

L'estudi d'impacte econòmic assenyalava que l'impacte sobre el valor afegit una vegada acabada la construcció de la font de llum sincrotró serà aproximadament d'uns 16,6 milions d'euros anuals.

d) Estalvi de temps.

Es tracta del temps que guanyen els investigadors espanyols que ja utilitzaven altres sincrotrons. Si tenim en compte que es preveu que hi haurà un miler d'investigadors a l'any beneficiats pel projecte i que, d'aquests investigadors, podem suposar que uns 400 són catalans, aquests

³⁹ El nou pla d'R+D espanyol (2004-2007) preveu arribar a l'1,4 % el 2007, amb una aportació pública de 20.000 milions d'euros.

Taula 13
Intensitat innovadora dels sectors de l'economia espanyola

Branques d'activitat	Valor afegit 1999 (preus constants)	Proporcions	Increment	Despesa en innovació (2000)	Coefficient innovador	Increment de despesa en innovació
1. Agricultura, ramaderia i pesca						
Agricultura, ramaderia i pesca	21.208	4,42 %	0,84	0,02	0,0000	0,00
2. Energia						
Extracció de productes energètics	1.205	0,25 %	0,05	77,94	0,0647	5,04
Extracció altres minerals	1.011	0,21 %	0,04	-	-	0,00
Coqueries, refinament i combustibles nuclears	2.259	0,47 %	0,09	-	-	0,00
Energia elèctrica, gas i aigua	14.168	2,95 %	0,56	82,10	0,0058	0,48
3. Indústria						
Indústria d'alimentació, begudes i tabac	13.681	2,85 %	0,54	701,95	0,0513	36,02
Indústria tèxtil i de la confecció, cuir i calçat	7.163	1,49 %	0,28	290,96	0,0406	11,82
Indústria de la fusta i el suro	2.445	0,51 %	0,10	138,62	0,0567	7,86
Indústria del paper; edició i arts gràfiques	7.546	1,57 %	0,30	544,02	0,0721	39,22
Indústria química	8.284	1,73 %	0,33	731,14	0,0883	64,53
Indústria del cautxú i matèries plàstiques	4.504	0,94 %	0,18	238,48	0,0529	12,63
Altres productes minerals no metàl·lics	7.246	1,51 %	0,29	417,05	0,0576	24,00
Metal·lúrgia i productes metàl·lics	11.454	2,39 %	0,46	703,22	0,0614	43,17
Maquinària i equip mecànic	6.039	1,26 %	0,24	411,04	0,0681	27,98
Equip elèctric, electrònic i òptic	6.764	1,41 %	0,27	767,46	0,1135	87,08
Fabricació de material de transport	10.870	2,26 %	0,43	1.615,59	0,1486	240,12
Indústries manufactureres diverses	4.037	0,84 %	0,16	218,44	0,0541	11,82
4. Construcció						
Construcció	37.424	7,80 %	1,49	292,53	0,0078	2,29
5. Serveis de mercat						
Comerç i reparació i hoteleria	90.007	18,75 %	3,58	353,90	0,0039	1,39
Transport i comunicacions	39.724	8,28 %	1,58	631,91	0,0159	10,05
Intermediació financera	22.941	4,78 %	0,91	363,83	0,0159	5,77
Immobiliàries i serveis empresarials (R+D)	63.419	13,21 %	2,52	951,97	0,0150	14,29
Educació de mercat	6.418	1,34 %	0,26	0,0000	0,00	
Sanitat i serveis socials de mercat	9.123	1,90 %	0,36	0,0000	0,00	
Altres activitats socials i serveis	12.353	2,57 %	0,49	426,89	0,0346	14,75
6. Serveis de no-mercat	68.669	14,31 %	2,73	215,22	0,0031	0,67
Totals	479.962	100,00 %	19,08	10.174,26	0,0212	660,98

400 investigadors s'estalvien els costos de transport en què abans havien d'incórrer en utilitzar l'ESRF. Si suposem que, de mitjana, un investigador que utilitzava la llum de sincrotró de l'ESRF havia d'estar els cinc dies laborables d'una setmana corrent, els quals li suposarien uns costos de viatge i allotjament de 1.000 euros, l'estalvi anual total, en euros del 2003, seria de 400.000 euros.

5.3. Factors de correcció pels preus de mercat

Es tracta de determinar els factors de correcció que eliminin les distorsions que originen els preus de mercat. S'han de considerar els costos i els beneficis socials alhora que els financers. En aquest ordre de coses, s'observa que els preus corrents que emergeixen de mercats imperfectes i de polítiques o regulacions del sector públic fracassen a l'hora de reflectir el cost d'oportunitat dels factors de producció i els productes. Si es considera que l'energia procedeix d'un sector no regulat⁴⁰ i que, per tant, ha augmentat la competència i els preus s'aproximen als costos marginals, no serà necessari realitzar cap correcció.

No obstant això, el valor del terreny no representa el valor de mercat i s'ha de corregir. En aquest sentit, es considera que el preu pagat pels terrenys és la meitat del preu de mercat (440 euros per metre quadrat). Per tant, a l'anàlisi econòmica s'ha augmentat el cost dels terrenys per corregir per un preu de compra que no reflecteix el preu de mercat.

En particular, un *input* crucial de molts projectes és el factor treball. Els salaris corrents són un in-

dicador social distorsionat del cost d'oportunitat del treball, atès que els mercats de treball són imperfectes. Un reflex d'aquestes imperfeccions és la presència d'atur. És raonable, per tant, que el salari que s'inclogui al projecte sigui inferior al pagat realment per notar aquesta circumstància. Aquest fet incrementarà el valor actualitzat net (VAN) social en comparació del VAN privat. Actualment, la taxa d'atur a Catalunya és del 9,2 %, una taxa que es pot considerar netament superior a la taxa natural d'atur (5-6 %). Aquest fet justifica utilitzar un factor de correcció pels salaris de 0,8.⁴¹ Així mateix, cal fer una correcció fiscal pels costos associats a la Seguretat Social. Finalment, se suposa que els salaris creixeran al mateix ritme que la inflació. La moderació salarial observada els darrers anys és perfectament compatible amb aquest supòsit. Per tant, no és necessari fer cap correcció pel creixement dels salaris reals.

5.4. Efectes econòmics difícils de mesurar

D'una manera addicional als quatre efectes que apareixen mesurats a la secció anterior, hi ha altres beneficis econòmics que són complicats de mesurar però que almenys han de ser citats. En primer lloc, la possibilitat de fer experiments amb una font de llum de sincrotró pròpia augmentarà la taxa d'èxit dels investigadors espanyols i catalans en les seves sol·licituds de *shifts* a l'ESRF i altres instal·lacions similars. Aquest fet incrementarà la probabilitat que es facin descobriments importants o aplicacions noves amb impacte comercial. Alhora, el funcionament de la instal·lació permetrà la formació de tècnics especialitzats en tècniques derivades de la utilització de la llum de sincrotró. Fins al moment, la manca d'una ins-

⁴⁰ Addicionalment, els preus del kWh són similars als d'altres països del nostre entorn.

⁴¹ Recomanat per la guia de la Unitat d'Avaluació de la Direcció General de Política Regional de la Comissió Europea (EVALUATION UNIT, 2001).

tal·lació pròpia dificultava la formació d'aquests tipus de tècnics.

En segon lloc, la millora en els mètodes de diagnòstic, una de les aplicacions més importants de la llum de sincrotró, permetrà augmentar l'esperança de vida. Existeixen mesures de l'impacte sobre l'esperança de vida dels nous mètodes de diagnòstic. Ara bé, l'elevada incertesa sobre els descobriments que efectivament es poden produir recomana ser prudents en aquest punt i no intentar una avaluació dels beneficis econòmics basada en un grau molt elevat d'incertesa.

La millora en els mètodes de diagnòstic, una de les aplicacions més importants de la llum de sincrotró, permetrà augmentar l'esperança de vida.

Finalment, és ben conegut que els processos de recerca tenen un resultat incert. No obstant això, amb una probabilitat positiva es poden produir descobriments que generin el naixement de nous productes o fins i tot una nova indústria. Un exemple clar són els nous medicaments desenvolupats gràcies a la llum de sincrotró, com ara el Viracept o el Relenza, l'impacte dels quals en el sector farmacèutic ha estat molt elevat. L'avaluació de la probabilitat d'un succés d'aquest tipus és massa complexa per intentar quantificar-la.

5.5. Resultats de l'anàlisi econòmica

Amb totes les consideracions anteriors (externalitats i correccions per ajustar al preu del mer-

cat) s'obté una visió econòmica de l'anàlisi cost-benefici en comptes de l'anàlisi estrictament financera. Els indicadors bàsics es presenten en la taula 14. En primer lloc, es pot comprovar que les TRI són bastant superiors a les obtingudes amb l'anàlisi financera. En l'escenari bàsic, la TRI econòmica és del 9,4 %, en comptes del 6,5 % de la TRI estrictament financera. L'augment és degut al fet que les externalitats negatives (contaminació causada per la generació d'energia elèctrica per abastir la instal·lació) i els ajustos per preus administratius (preu dels terrenys) són menors que les externalitats positives (estalvi de temps, efecte de la millora del capital humà, augment de la capacitat d'innovació de l'economia, etc.). La taula 14 també presenta la sensibilitat dels indicadors davant de canvis en la taxa d'inflació. La TRI oscil·la entre el 9,7 % (inflació del 3 %) i el 9 % (inflació del 2 %).

Taula 14
Indicadors bàsics de l'anàlisi econòmica

Inflació →	2,5 %	2 %	3 %
VPN (5 %)	100,5 M€	86,5 M€	96,0 M€
VPN (4 %)	140,9 M€	123,9 M€	138,6 M€
VPN (2,5 %)	221,9 M€	197,4 M€	224,6 M€
B/C	1,29	1,26	1,32
TRI	9,4 %	9 %	9,7 %

6. Conclusions

Aquest estudi presenta una anàlisi econòmica de la futura construcció d'una font de llum de sincrotró al Vallès Occidental. El projecte consisteix en la construcció d'una font de llum que aconseguirà un feix d'electrons amb energies en el rang d'almenys 2,5 GeV. El perímetre del seu

anell serà de 260 m. Inicialment, es preveu la construcció de cinc línies experimentals. La construcció s'estendrà al llarg del període 2003-2008 i el pressupost total de la construcció i l'equipament és de 164 milions d'euros.

Els objectius són: reforçar la posició competitiva de Catalunya en matèria de grans instal·lacions científiques; facilitar l'accés de les empreses del sud de la Unió Europea a una font de llum de sincrotró; augmentar la utilització del potencial científic i tecnològic de Barcelona i la seva àrea metropolitana; millorar la capacitat del sistema de ciència i tecnologia català i espanyol per accedir a altres grans instal·lacions científiques europees; facilitar la millora de la competitivitat de les empreses catalanes i espanyoles; incrementar el benestar dels ciutadans a partir de les aplicacions de la llum de sincrotró a la millora dels procediments de diagnòstic sanitari, estudis ambientals, etc.

L'escenari bàsic de l'anàlisi cost-benefici considera una taxa d'inflació del 2,5 %, una taxa de descompte del 4 %, 230 dies d'obertura anual de la instal·lació i cinc anys fins a arribar a la seva saturació. L'anàlisi financera en l'escenari bàsic resulta en un valor actualitzat net de 58,5 milions d'euros i una taxa interna de rendiment del 6,5 %. L'anàlisi de sensibilitat davant de canvis de la taxa d'inflació, els dies anuals d'obertura i els anys fins a la saturació mostra un interval de variació de la taxa interna de rendiment entre el 5,2 i el 7 %. L'anàlisi econòmica té en consideració correccions dels resultats financers per tenir en compte la fiscalitat, les externalitats, l'estalvi de temps i la conversió en preus de mercat de béns i serveis adquirits en condicions no competitives. L'anàlisi econòmica en l'escenari bàsic proporciona un valor actualitzat net de 140,9 milions d'euros i una taxa interna de rendibilitat del 9,4 %.

Referències

- ABELA, R. [dir.]. *Una fuente de luz sincrotrón en España: evaluación de las necesidades y de las oportunidades científicas y del impacto socio-económico*. Madrid: Grupo de trabajo Abela (Mimeo), 2001. Accessible a: <http://www11.uniovi.es/gec/informe-iv.pdf>
- BIRGENAU, R. L. [pres.] i SHEN, Z.-X. [vicepres.]. *Report of the Basic Energy Sciences Advisory Committee on D.O.E. Synchrotron Radiation Sources and Science, November 1997*. Washington: US Department of Energy, 1997. Accessible a: <http://www.sc.doe.gov/bes/besac/syncpanel.pdf>
- BOSCH, J.; J. GARCÍA-MONTALVO; J. GARCÍA; F. SANCHO i D. SERRA. *El impacto económico de la construcción de la red de cable de banda ancha en Cataluña*. Barcelona: Institut d'Estudis Territorials (Mimeo), 1997.
- CAPMANY, J. *User requirements for a synchrotron facility in Spain*. LSB internal report LSB-0195ER. Bellaterra: Laboratori del Sincrotró de Barcelona (LSB), 1995.
- CDTI (Centro para el Desarrollo Tecnológico Industrial). *Informe anual 2002*. Madrid: Centro para el Desarrollo Tecnológico Industrial (CDTI), 2003. Accessible a: <http://www.cdti.es/webCDTI/esp/docs/fgenerales/Memoria%202002.pdf>
- CLARKSON, R. i K. DEYES. «Estimating the social cost of carbon emissions», Government Economic Series working paper 410. Londres: HM Treasury, 2002. Accessible a: <http://www.hm-treasury.gov.uk/media/209/60/SCC.pdf>
- DRI/McGraw HILL. *The economic impact of the proposed Canadian light source*. Toronto: DRI/McGraw Hill, 1996.
- EVALUATION UNIT (DG REGIONAL POLICY). *Guide to cost benefit analysis of investment projects*. Brussel·les: European Commission, 2001. Accessible a: http://europa.eu.int/comm/regional_policy/sources/docgener/guides/cost/guide02_en.pdf
- ESRF (European Synchrotron Radiation Facility). *Highlights 2001*. Grenoble: ESRF, 2002. Accessible a: <http://www.esrf.fr/UsersAndScience/Publications/Highlights/2002/>
- GAMBINI, M. i M. VELLINI. «CO₂ emission abatement from fossil fuel power plants by exhaust gas treatment». *Proceedings of the ASME International Joint Power Generation Conference, Miami Beach, Florida, EUA, July 23-26, 2000*. Nova York: ASME Technical Publishing Department, 2000. Accessible a: <http://asme.pinetec.com/ijpgc2000/data/html/15056.html>
- GARCÍA-MONTALVO, J. i F. PÉREZ. *El impacto económico de los aeropuertos: metodología y aplicación al aeropuerto de Valencia*. Editorial Civitas, 1996.
- GARCÍA-MONTALVO, J. *El impacto económico de la construcción de la red de banda ancha en las demarcaciones norte y sur de la Comunidad Valenciana*. Barcelona: Mimeo, 1998.
- GARCÍA-MONTALVO, J. *Educación y empleo de los graduados de enseñanza superior en España y en Europa*. València: Fundación Bancaixa, 2001.
- GARCÍA-MONTALVO, J. *Innovación e investigación y desarrollo en la Comunidad Valenciana y Cataluña: situación, diagnóstico y recomendaciones*. Barcelona: Mimeo, 2003.
- HOUGHTON, J.; PAPPAS, N.; RASMUSSEN, B.; RAY, D. *National Synchrotron Light Source: an economic impact study*. Melbourne (Victòria, Austràlia): Center for Strategic Economic Studies (CSES), 1999. Accessible a: <http://pandora.nla.gov.au/pan/31937/20021120/www.cses.com/documents/SynchrotronNov99.pdf>
- IDESCAT. *Estadísticas sectoriales, laborals i d'R+D*. Barcelona: IDESCAT, anys diversos.
- INE. *Estadísticas d'R+D, tablas Input-Output, estadísticas sectoriales*. Madrid: INE, anys diversos.

MINISTERIO DE CIENCIA Y TECNOLOGÍA. *Memoria anual*. Madrid: MCYT, anys diversos.

MINISTERIO DE CIENCIA Y TECNOLOGÍA. *El Plan Nacional de I+D+i (2000-2003). Informe sobre su evaluación*. Madrid: MCYT, 2004. Accessible a: http://wwwn.mec.es/ciencia/plan_idi/files/EvaluacionFinal_00_03.pdf

NORDHAUS, W. D. «To slow or not to slow: the economics of the greenhouse effect», *Economic Journal*, 101 (1991), 920-937.

OECD. *Main Science and Technology Indicators*. París: OECD, 2003.

PASCUAL, R. «El projecte de font de llum de sincrotró al Vallès», *Coneixement i Societat*, núm. 1 (2003), p. 80-106. Accessible a: http://www10.gencat.net/dursi/generados/catala/departament/recurs/doc/01_art_pascual.pdf
